


15596
BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio XIX
Palchetto C
Num.° d'ordine 16


NAZIONALE
B. Prov.
II
967
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III
NAPOLI



LA SIDÉROTECHNIE,

OU

L'ART DE TRAITER LES MINÉRAIS DE FER

POUR

EN OBTENIR DE LA FONTE, DU FER, OU DE L'ACIER.



LA SIDÉROTECHNIE,

OU

L'ART DE TRAITER LES MINÉRAIS DE FER

POUR

EN OBTENIR DE LA FONTE, DU FER, OU DE L'ACIER;

OUVRAGE ORDONNÉ PAR S. EXC. LE MINISTRE DE L'INTÉRIEUR,

Approuvé et adopté par la première Classe de l'Institut Impérial de France, pour faire partie de la Collection des Arts et Métiers qu'elle doit publier;

DÉDIÉ

A SA MAJESTÉ IMPÉRIALE ET ROYALE.

PAR J. H. HASSENFRATZ,
INSPECTEUR DIVISIONNAIRE AU CORPS IMPÉRIAL DES MINES.

TOME PREMIER.



A PARIS,
CHEZ FIRMIN DIDOT, IMPRIMEUR DE L'INSTITUT, LIBRAIRE
POUR LES MATHÉMATIQUES, LA MARINE, L'ARCHITECTURE HYDRAULIQUE, etc.
RUE JACOB, n° 24.

1812.

A SA MAJESTÉ
IMPÉRIALE ET ROYALE.

SIRE,

En daignant agréer la Dédicace de cet ouvrage, VOTRE MAJESTÉ *donne une nouvelle preuve de l'affection paternelle qu'elle porte jusque dans les plus petits détails de la grande et vaste administration qu'Elle a su élever à un si haut degré de splendeur.*

Son Excellence votre Ministre de l'Intérieur, desirant faire introduire la plus grande économie dans le combustible que consument les arts manufacturiers, ordonna aux chefs de l'administration des mines de faire publier un ouvrage qui éclairât les maîtres de forge de l'Empire sur leur véritable intérêt, en ce qui concerne le traitement des minérais de fer pour en obtenir de la fonte, du fer et de l'acier.

Quelque soin que l'on ait mis à rédiger cet art, approuvé et adopté par la première classe de l'Institut, il aurait été difficile d'en recueillir tout le bien qu'il devait procurer, s'il n'eût été recommandé par un protecteur puissant.

Les maîtres de forge de l'Empire, encouragés par la faveur que VOTRE MAJESTÉ *daigne accorder à cet ouvrage, dont le but est de contribuer au perfectionnement de l'art qu'ils pratiquent, se plairont à*

faire l'essai des nombreux exemples qu'ils y trouveront, et à introduire dans leurs usines les procédés pratiqués avec succès dans plusieurs pays. Il était digne du règne de Votre Majesté, SIRE, *de faire naître ce mouvement tant desiré, et dont l'art de travailler le fer avait un si grand besoin.*

Quant à moi, SIRE, *qui ai eu l'avantage d'avoir été choisi parmi les membres du Corps impérial des mines (que vous avez créé), pour propager des lumières qui sont depuis long-temps concentrées parmi eux, je me trouve très-heureux de pouvoir déposer au pied du trône de* VOTRE MAJESTÉ *le fruit de mon travail, et le résultat des conseils que mes savants collègues ont bien voulu me donner.*

Je suis,

SIRE,

Avec un profond respect,

DE VOTRE MAJESTÉ,

Le très-humble, très-obéissant serviteur,
et fidèle sujet,
J. H. HASSENFRATZ.

PRÉFACE.

Quoique nous nous soyons constamment occupés du travail du fer depuis l'année 1782, époque à laquelle le Gouvernement français nous chargea, conjointement avec MM. Stoutz et Lefebvre-d'Hellancourt, d'aller étudier l'art de fabriquer le fer et l'acier dans les usines de la Styrie et de la Carinthie; quoique nous ayons été chargés de faire, à MM. les élèves des mines, un cours de minéralurgie dans lequel le travail de ce métal formait la partie la plus essentielle de leur instruction, nous avouons que nous ne nous serions jamais déterminés à décrire l'art si difficile de traiter le fer et l'acier, si nous n'en eussions reçu l'ordre exprès de Son Exc. le Ministre de l'Intérieur.

Pour exécuter cet ordre avec tout le soin qu'il méritait, nous avons rassemblé les notes que nous avons recueillies, soit pour notre instruction perconnelle, soit pour celle des élèves qui nous étaient confiés. Nous nous sommes procuré tous les ouvrages français et étrangers dont nous avions entendu parler avec éloge. Entourés de ces matériaux, nous avons commencé ce travail, sinon avec confiance, du moins avec beaucoup de zèle. Après une suite d'expériences et de recherches longues et assidues, nous sommes parvenus à terminer ce traité. Son Excellence l'ayant fait examiner par une commission d'hommes instruits, nous a donné l'ordre de le faire imprimer.

Malgré les soins et l'attention que nous avons mis dans la

description de cet art, il est difficile qu'il soit déja arrivé au degré de perfection qu'il serait desirable qu'il pût atteindre, et nous ne serions pas étonnés que des savants, des maîtres de forge et des artistes y trouvassent des articles susceptibles de modification; et si parmi ces hommes instruits il y en avait qui fussent disposés à concourir au perfectionnement de l'art de travailler le fer, et qui voulussent bien nous faire part de leurs observations, nous les recevrions avec reconnaissance, nous nous empresserions de profiter de leurs lumières dans le Supplément que nous serions dans le cas de publier, et nous nous ferions un devoir de citer leurs auteurs, s'ils nous en accordaient la permission.

Lorsque nous nous sommes déterminés à sacrifier plusieurs années à la rédaction de cet ouvrage, nous n'avions d'autre but que d'être utiles aux progrès de l'art, en faisant connaître les procédés qui sont pratiqués dans les pays où le travail du fer a obtenu le plus de perfection, nous n'ignorions pas que les meilleurs ouvrages, en métallurgie, publiés depuis Agricola jusqu'à nos jours, avaient été entièrement oubliés; nous savions que les ouvrages utiles sont commentés, extraits, le plus souvent sans en citer les auteurs. Il n'en est pas des ouvrages sur les arts comme de ceux de littérature. Combien de faits précieux, contenus dans l'art de convertir le fer forgé en acier, et dans celui d'adoucir le fer fondu publié par le célèbre Réaumur, sont présentés aujourd'hui comme des nouveautés, et reçus comme des découvertes!... Qui oserait s'approprier impunément deux vers de Racine ou de Boileau?...

Nous devons le dire, un grand nombre d'artistes, souvent même les plus intelligents, négligent trop de lire les ouvrages

qui ont été publiés sur les arts qu'ils pratiquent, très-peu en connaissent l'histoire et les progrès; d'où il arrive qu'ils inventent souvent, avec de grands efforts, des méthodes anciennement abandonnées, parce qu'elles étaient moins avantageuses que celles qui étaient alors en usage. Nous en avons un exemple récent dans l'invention des machines soufflantes mues dans l'eau, que des hommes de beaucoup de talents cherchent à rétablir dans ce moment.

Au reste, quelque peu avantageux que soit pour un auteur le temps qu'il emploie à décrire un art, nous ne dissimulerons pas que nous avons éprouvé deux sortes de satisfaction en nous occupant de celui-ci : la première, d'avoir perfectionné nos connaissances dans le travail du fer, en envisageant l'art dans toute son étendue, en comparant tous les procédés, en examinant et en discutant toutes les opinions dont nous avons eu connaissance, « en rangeant tous les faits dans « un ordre qui établit entre eux une correspondance mu-« tuelle, une liaison simple et naturelle, enfin en donnant des « explications simples et concordantes de toutes les opéra-« tions auxquelles sont soumis les minérais de fer et le fer « lui-même (1). » La seconde, d'avoir fait connaître un grand nombre de procédés pratiqués avec beaucoup de succès, et d'avoir conçu l'espérance que la connaissance de ces procédés concourrait à l'amélioration de l'art et à l'économie du combustible en France.

Nous trouvons, sur un registre qui contient les noms et la situation de toutes les usines à fer qui existaient en 1792,

(1) *Voyez* le rapport fait à l'Institut sur cet ouvrage.

qu'il y avait, à cette époque, environ six cents hauts fourneaux et quinze cents feux d'affinerie, ou de martinets, sur toute la surface de la France. Si l'on pouvait supposer que la quantité d'usines, contenue dans les nombreux pays qui ont été réunis à l'Empire, ne fût que d'un tiers en sus de celle qui existait alors; il s'ensuivrait qu'il y aurait, en France, environ huit cents hauts fourneaux et deux mille feu d'affinerie ou de martinets (1).

Chaque haut fourneau consume, quantité moyenne, environ vingt mille stères de bois par an, et chaque feu d'affinerie huit mille, ce qui fait, pour le tout, trente-deux millions de stères de bois (2).

Dans plusieurs départements, tels que ceux de l'Isère, du Mont-Blanc, du ci-devant Piémont, on consume le double du bois que l'on devrait employer; dans d'autres, on brûle du charbon de bois, tandis qu'il existe, à la proximité des usines, d'excellente houille qui pourrait y être substituée avec beaucoup de succès.

Si nous pouvons nous en rapporter aux calculs que nous avons faits, nous devons espérer que si l'on veut s'occuper sérieusement de l'amélioration que l'état actuel du travail du fer réclame, on pourra porter à seize millions de stères, au

---

(1) Tout nous fait croire que ce nombre est beaucoup au-dessous de celui qui existe réellement.

(2) Ce nombre de bouches à feu pourrait produire de trois millions et demi à quatre millions de quintaux métriques de fonte, deux millions et un quart de quintaux de gros fers, et la proportion de fer martiné et refendu qui en dépendent.

moins, l'économie en bois qui en résultera, et les changements que cette amélioration occasionnera procureront un fer d'une meilleure qualité, détermineront une diminution dans les dépenses, augmenteront le bénéfice des maitres de forge, tout en concourant à diminuer le prix des fers, et à nous affranchir de la dépendance de l'étranger dans laquelle se trouvent quelques parties du vaste Empire français.

Enfin, si ce Traité, qui a été approuvé et adopté par la première classe de l'Institut de France, et dont Sa Majesté a bien voulu agréer l'hommage, peut devenir utile, soit à l'amélioration du travail du fer, soit à l'économie du combustible que l'on emploie, c'est aux administrateurs éclairés qui en ont conçu l'idée, qui en ont fait ordonner la rédaction, et poursuivre l'exécution, que l'on doit principalement en être redevable.



TABLE DES MATIERES

CONTENUES

DANS LE PREMIER VOLUME.

INTRODUCTION.

Ancienneté du travail du fer... *Page* 1
Comment on travaillait le fer du temps d'Agricola.........................9
Perfectionnement qu'éprouva le travail du fer depuis Agricola. .... *ibid.*
Quels minérais il est plus avantageux de traiter par la méthode à la Catalane.....15
Il parait que le traitement de l'acier est plus ancien que celui du fer............16

PREMIERE PARTIE.

DES CARACTERES DISTINCTIFS DES FERS.

DU FER EN GÉNÉRAL.

C'est le plus commun des métaux, le plus difficile à obtenir, celui dont on fait le plus d'usage et dont la valeur éprouve la plus grande variation. 16

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU FER.

Couleur...............................21
Cassure............................ *ibid.*
Densité............................ *ibid.*
Dureté...............................22
Odeur............................ *ibid.*
Saveur............................ *ibid.*
Malléabilité...............................22
Ecrouissement............................ *ibid.*
Caloricité............................ *ibid.*
Conductricité...............................25
Magnétisme............................ *ibid.*

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES.

De l'action du fer sur les combustibles...26
Sur le carbone.................... *ibid.*
Sur le soufre.......................27
Sur le phosphore.................. *ibid.*
De l'action des métaux sur le fer......30
De l'arsenic.................... *ibid.*
Du chrome.................... *ibid.*
Du titane.......................31
Du manganèse.................... *ibid.*
De l'antimoine.................... *ibid.*
Du bismuth..........................31
Du nickel.................... *ibid.*
Du schéelin..........................32
Du cobalt.................... *ibid.*
Du cuivre.................... *ibid.*
De l'étain..........................33
Du plomb.................... *ibid.*
Du zinc.................... *ibid.*
Manière dont le fer se comporte avec les métaux, d'après Thomson.......... *ibid.*

TABLE

De l'affinité des différents métaux pour le fer, déduite des expériences de Bergmann... 34
De l'action du fer sur l'oxigène........ 35
Comment on combine l'oxigène avec le fer. 36
Combien il se forme d'oxides différents.. 37
De l'action des acides sur les oxides de fer. 38
Affinité de l'oxide de fer pour les différents acides, déduite des observations de Lavoisier........................ ibid.
Comment on reconnaît l'état des oxides.. 39

DES DIFFÉRENTES ESPECES DE FER.

Opinion de Réaumur, Rinmann et Bergmann, sur les causes qui déterminent ces différences..................... ibid.
Détermination de ces causes par Vandermonde, Monge et Berthollet........ 40
Expériences d'après lesquelles on les a déterminées..................... ibid.
De la plombagine trouvée dans le fer.. ibid.
Proportion déterminée par Bergmann... 41
Des gaz dégagés des fers pendant leur dissolution dans des acides............. 42
Proportion de ces gaz, déterminée par Bergmann......................... ibid.
Proportion de ces gaz, déterminée par les Académiciens Français............. 42
De la cémentation des trois espèces de fer. 43
Preuve de l'existence de l'oxigène dans la fonte......................... ibid.
Augmentation du poids des fers pendant la cémentation..................... ibid.
Différence dans la composition de la fonte du fer et de l'acier................ 44
Expériences de Clouet, sur les différents fers.......................... ibid.
Densité moyenne des différents fers.... 46
De l'extension moyenne que les différents fers éprouvent par la chaleur..... ibid.

DU FER CRU.

Propriétés de la fonte ou du fer crû.... 46
Densité de la fonte................ ibid.
Expérience sur la ténacité de la fonte.. ibid.
Tableau *des poids employés pour rompre différents barreaux de fer crû*....... 47
Résultat déduit de ces expériences... ibid.
Composition de la fonte de fer........ 49
Tableau *des analyses de vingt-huit espèces de fonte*......................... 51
Densité des différentes espèces de fonte... 52
De la fonte blanche............... ibid.
Sa composition..................... 53
Comment une fonte grise peut devenir blanche par le refroidissement........ ibid.
Des propriétés de la fonte blanche..... 54
De sa densité..................... ibid.
De la fonte blanche mate.......... ibid.
De la fonte blanche vive............. 54
De la fonte blanche argentée.......... 55
De la fonte grise................. ibid.
Sa composition.................... ibid.
Ses propriétés..................... ibid.
Sa densité....................... ibid.
De la fonte grise claire............. ibid.
De la fonte grise.................... 56
De la fonte noire.................. ibid.
De la fonte truitée................ ibid.
Sa composition.................... ibid.
Sa densité....................... ibid.
De la fonte grise truitée............ ibid.
De la fonte blanche truitée.......... ibid.
De la fonte truitée également......... 57
Comment se forme la couleur truitée. ibid.
Usage des différentes fontes......... ibid.

DU FER DUCTILE.

Sa composition.......................58
Tableau *des analyses de Bergmann*....59
Densité et ténacité du fer ductile..... *ibid.*
Tableau *de la résistance des fers forgés, comparée à celle que les fontes de fer ont indiquée*..........................60
Tableau *des expériences de Mussembroeck, sur la résistance des fers*............61
Tableau de la résistance des différents métaux comparés entre eux, d'après Mussembroeck et Thomson...............61
Observations de Prony, sur la différence qu'une légère incision produit sur la ténacité..............................62
Du fer doux..................... *ibid.*
Ses caractères..................... *ibid.*
Ses variétés........................63
Du fer grenu...................... *ibid.*
Du fer nerveux.................... *ibid.*
Du fer mélangé.................... *ibid.*
Le nerf n'est pas un caractère constant de la bonté du fer.....................63
Du fer mou.........................64
Du fer dur........................ *ibid.*
Du fer cassant à froid..............65
Ses caractères.................... *ibid.*
Ses usages........................ *ibid.*
Sa densité........................ *ibid.*
Son magnétisme.................... *ibid.*
Du fer brisant à chaud..............66
Ses caractères.................... *ibid.*
Ses propriétés.................... *ibid.*
Son magnétisme.....................67
Son usage......................... *ibid.*
Du fer aigre..................... *ibid.*
Du fer à grains................... *ibid.*
Essais des fers....................68
A la vue.......................... *ibid.*
A froid........................... *ibid.*
A chaud........................... *ibid.*
Aux acides........................ *ibid.*
A la trempe....................... *ibid.*

DE L'ACIER.

Ses caractères......................69
Sa résistance.......................70
Sa coloration par la chaleur......... *ibid.*
Son magnétisme......................71
Sa sonorité....................... *ibid.*
Sa densité........................ *ibid.*
Sa composition.................... *ibid.*
Tableau *des analyses de quinze variétés d'acier*............................72
Des quatre principaux aciers; différences qui les caractérisent....................73
Le manganèse n'est pas partie constituante des aciers.........................74
De l'acier de fusion ou de forge.......75
Ses caractères.................... *ibid.*
De l'acier rose................... *ibid.*
De la détérioration de l'acier en le forgeant............................75
Comment on le rend plus homogène.. *ibid.*
Comment on distingue sa bonté........76
De l'acier cémenté................ *ibid.*
De l'acier poule....................77
De sa détérioration à la forge....... *ibid.*
Comment on distingue sa bonté..... *ibid.*
De l'acier fondu................. *ibid.*
Ses caractères......................78
Ses variétés...................... *ibid.*
Ses propriétés.................... *ibid.*
De l'acier Poncelet.................79
Des différents aciers que l'on trouve dans le commerce.................... *ibid.*

DEUXIEME PARTIE.

DES SUBSTANCES DONT ON OBTIENT LE FER.

DES MINERAIS DE FER.

Ce qu'on entend par minérais.........80
Leur division minéralogique..........82
De l'espèce minéralogique...........83
Caractères..................... *ibid.*
Division du genre *fer*, d'après Haüy et Werner........................84
Tous les minérais de fer ne sont pas propres à produire du fer.................86
Division métallurgique du fer.........88

DU FER OXIDULÉ OU MÉTALLOÏDE.

Analyse de douze variétés de fer oxidulé..90
Ils contiennent jusqu'à 0,76 de fer.....91
Analogie entre les fers oxidulés naturellement et ceux qui le sont par l'art.. *ibid.*
Du gissement des fers oxidulés..... *ibid.*
De leurs caractères, de leur propriété et de leur magnétisme..................92
Des minérais de fer métalloïdes cristallisés. ib.
Des minérais métalloïdes amorphes......93
Des minérais métalloïdes arénacés.... *ibid.*
Des oxidules volcaniques; ils contiennent du titane............................94

DES MINÉRAIS DE FER SPATHIQUES.

Ce que c'est........................94
La chaux n'en est pas partie constituante. *ib.*
Ils contiennent du manganèse.........95
TABLEAU *de l'analyse de vingt-deux échantillons de minérai de fer spathique gris, de neuf échantillons de fer spathique brun, et de quatre échantillons de fer spathique grillé*...........................96
Différence entre les minérais blancs, jaunes, brunissants et bruns...........97
Caractères des fers spathiques........ *ibid.*
Causes des différences qui existent entre les diverses variétés..................98
Ils contiennent entre 0,36 et 0,59 de fer..99

DE L'OXIDE DE FER.

De l'oxide de fer pur...............100
De l'oxide de fer mêlé d'oxidule..... *ibid.*
Ce sont ceux que l'on traite le plus ordinairement........................ *ibid.*
TABLEAU *des analyses de quatre échantillons d'oxide de fer mêlé d'oxidule*.......101
Ils contiennent de 0,34 à 0,67 de fer.. *ibid.*
Des sous-variétés des oxides de fer mêlés d'oxidule..................... *ibid.*
Des oxides de fer concrétionnés ou mamelonnés.......................... *ibid.*
Quels noms leur donne Haüy et Werner. *ibid.*
TABLEAU *des analyses de six échantillons de minérais de fer concrétionnés*........104
Ils contiennent de 0,47 à 0,72 de fer.. *ibid.*
Leurs caractères....................105
Leur division..................... *ibid.*
De l'oxide concrétionné rouge....... *ibid.*
Des oxides concrétionnés bruns...... *ibid.*
Quelques-uns contiennent du manganèse. *ib.*
Des oxides de fer compactes..........106
TABLEAU *des analyses de dix échantillons d'oxide de fer compacte*......... *ibid.*
Ils contiennent de 0,42 à 0,70 de fer.. *ibid.*

Quelques-uns contiennent du mangan... 107
Division des oxides compactes....... *ibid.*
De l'oxide compacte rouge........... 107
De l'oxide compacte brun.......... *ibid.*

DES OXIDES DE FERS TERREUX.

Division de ces oxides............. 107
Des oxides de fer terreux en gros morceaux........................ 108
TABLEAU *des analyses de onze échantillons d'oxide de fers terreux*........... *ibid.*
Ils contiennent de 0,38 à 0,57 de fer.. *ibid.*
Ce sont des hydrates.............. *ibid.*
Plusieurs contiennent du phosphate de fer............................ 109
Division des oxides terreux en gros morceaux........................ *ibid.*
De l'oxide terreux-argileux.......... *ibid.*
Substances qui y sont mélangées..... *ibid.*
Des oxides terreux-limoneux.......... 110
Analyse d'un échantillon de mine limoneuse........................ *ibid.*
Division de Werner............... *ibid.*
Comparaison entre les minérais des MARAIS et des lieux BOURBEUX............ 111
De l'oxide de fer terreux en fragments.. 112
Division de ces minérais.......... *ibid.*
De l'oxide des fers terreux en fragments agglutinés........................ 112
TABLEAU *des analyses de cinq échantillons de fer oxidé terreux en fragments agglutinés*........................ 113
Ils contiennent de 0,25 à 0,61 de fer.. *ibid.*
Ce sont des hydrates.............. *ibid.*
Des fers oxidés terreux en fragments séparés........................ 114
TABLEAU *de l'analyse de dix échantillons de fer oxidé terreux en fragments séparés*. *ib.*
Ils contiennent de 0,26 à 0,49 de fer.. *ibid.*
Quelques-uns contiennent du chrôme.. 115
Ce sont des hydrates............... *ibid.*
OBSERVATIONS.
Division des minérais de fer en mines quartzeuses, calcaires et argileuses..... *ibid.*
Cette division est mauvaise........... 116
TABLEAU *des analyses de quatorze hydrates de fer*........................ 117

DU GISSEMENT DES MINÉRAIS DE FER.

Ce qu'on appelle *gist*................ 118
Des couches...................... *ibid.*
Des filons....................... *ibid.*
Des masses, ou stock-werck......... *ibid.*
Des amas......................... *ibid.*
Des rognons...................... 119
Tableau des espèces, sous-espèces, variétés et sous-variétés des minérais de fer.. *ibid.*
Des gissements de minérais de fer oxidulés........................ 120
Nature de leurs gissements......... *ibid.*
Terrains dans lesquels ils se trouvent.. *ibid.*
Lieux où on les exploite.......... *ibid.*
Du gissement des minérais de fer spathiques........................ 120
Nature de leurs gissements......... *ibid.*
Terrains dans lesquels ils se trouvent. *ibid.*
Lieux où on les exploite........... *ibid.*
Du gissement de l'oxide de fer mêlé d'oxidule........................ *ibid.*
Du gissement des minérais de fer oxidés, concrétionnés ou mamelonnés......... *ibid.*
Nature de leurs gissements......... *ibid.*
Terrains dans lesquels ils se trouvent. *ibid.*
Du gissement des fers compactes....... 123
Nature de leurs gissements......... *ibid.*
Terrains dans lesquels ils se trouvent.. *ibid.*
Lieux où on les exploite........... *ibid.*

Du gissement des fers argileux.......123
Nature de leur gissement........... *ibid.*
Terrains dans lesquels ils se trouvent.. *ibid.*
Lieux où on les exploite........... *ibid.*
Du gissement des oxides de fer limoneux. 124
Nature de leurs gissements......... *ibid.*
Terrains dans lesquels ils se trouvent.. *ibid.*
Lieux où on les exploite............ *ibid.*
Du gissement des fers oxidés en petits fragments......................... *ibid.*
Nature de leurs gissements......... *ibid.*
Terrains dans lesquels ils se trouvent. *ibid.*
Lieux où on les exploite............125
OBSERVATIONS.
Division lithologique des terrains, d'après Haüy......................... *ibid.*
PREMIER ORDRE.....................126
Agrégats que l'on considère comme de première formation et qui portent plus particulièrement le nom de roche.......127
Base simple........................127
Base composée..................... *ibid.*
SECOND ORDRE...................... *ibid.*
Agrégats qui sont généralement regardés comme de seconde ou troisième formation, et qui paraissent souvent devoir leur naissance à des sédiments, et leur durée au dessèchement..................... *ibid.*
TROISIÈME ORDRE...................129
Agrégats composés de fragments ou de débris agglutinés, postérieurement à la formation auxquels ils ont appartenu......... *ibid.*

DIVISON DE WERNER.

Ire CLASSE. ROCHES PRIMITIVES........ *ibid.*
IIe CLASSE. ROCHES INTERMÉDIAIRES.... *ibid.*
IIIe CLASSE. ROCHES TRANSFORMÉES...... *ibid.*
IVe CLASSE. ROCHES D'ALLUVION.........128
Ve CLASSE. ROCHES VOLCANIQUES....... *ibid.*
Terrains dans lesquels on trouve les différents minérais de fer............ *ibid.*

DE L'ESSAI DES MINES DE FER.

Des essais par la voie humide.........129
Difficultés qu'ils présentent......... *ibid.*
Substances qu'il faut séparer du fer....130
Des agents chimiques.............. *ibid.*
De l'action chimique............... *ibid.*
Quel choix on doit faire du minérai que l'on veut analyser.....................131
De l'essai par la voie sèche...........132
Des instruments absolument nécessaires. *ib.*
Des mortiers...................... *ibid.*
Des tamis......................... *ibid.*
Des balances...................... *ibid.*
Des creusets et de leur préparation.....133
Des forges et des fourneaux..........134
Du fourneau de Moutier............135
Du fourneau de l'École Polytechnique. *ibid.*
Des tenailles.......................136
Du tas et des marteaux............ *ibid.*
Des tests à rôtir....................137
Des opérations que l'on fait subir aux minérais......................... *ibid.*
Des flux..........................138
Examen et discussion sur les différents flux...........................141
De la fusion des minérais sans flux.....142
Comment on détermine les fondants qu'il faut ajouter au minérai........... *ibid.*
Expériences à l'appui...............143
TABLEAU *des essais par la voie sèche de plusieurs minérais qui n'ont pas fondu seuls, et que l'on a rendus fusibles en y ajoutant de nouvelles terres*................144

TROISIEME PARTIE.

CHAPITRE PREMIER.

DES PRÉPARATIONS QUE L'ON FAIT SUBIR AUX MINÉRAIS DE FER.

DU TRIAGE.

Ce que l'on entend par triage........148
Du triage à la main............... *ibid.*
Des marteaux de triage..............149
Des lavages préparatoires............149
Du grillage préparatoire............ *ibid.*

DU LAVAGE.

Dans les bassins....................151
Avec des tamis.................... *ibid.*
Avec des chaudrons.................152
De l'égrapoir.......................152
Des laveries à gradins............. *ibid.*
Des patouillets.....................153

DU GRILLAGE.

Quels minérais on grille.............153
Effets du grillage sur les oxidules.....154
Sur les fers spathiques...............155
Sur les oxides mamelonnés......... *ibid.*
Sur les oxides compactes............156
Sur les oxides terreux............. *ibid.*
Le grillage facilite la réduction et la fusion......................... *ibid.*
Explication........................157
Substances que l'on vaporise dans le grillage........................159
Le grillage économise le combustible..160
Les minérais pulvérisés se fondent moins bien que les minérais concassés... *ibid.*
Extinction des minérais dans l'eau....161
Exposition à l'air après le grillage....162
Avantage de cette exposition........ *ibid.*
Elle facilite la séparation de la magnésie............................ *ibid.*
Du grillage à l'air libre............163
Choix du terrain sur lequel on veut griller.......................... *ibid.*
Arrangements du minérai et du combustible.......................... *ibid.*
Du grillage au charbon, à la houille, au bois........................164
Mise en feu et conduite du feu...... *ibid.*
Du grillage dans une aire fermée.....165
Des fourneaux prismatiques, rectangulaires, circulaires, elliptiques.......... *ibid.*
Des fourneaux pyramidaux à bois, à houille..........................166
Du grillage sous des hangars.........167
Du grillage dans des fourneaux de reverbères.......................... *ibid.*
Description de ces fourneaux........ *ibid.*
Des fourneaux à plusieurs étages......168
Du dégré de grillage que les minérais doivent avoir, et des moyens que l'on emploie pour l'obtenir........................169
Vaporisation du soufre, de l'arsenic, de l'acide sulfureux............... *ibid.*
Quel degré de calcination le minérai doit subir, et comment on le reconnait..170
Il faut éviter de fondre le minérai....171
Inconvénient d'un trop fort grillage.. *ibid.*
Description de la conduite d'un grillage, d'après Garney..................172

Proportion de combustible employée . . 174
Méthode en usage en Suède, pour griller les mines limoneuses. . . . . *ibid.*
Description du grillage de la Dalécarlie, d'après Swedemborg. 175

DU CASSAGE OU BOCARDAGE.

Grosseur la plus favorable du minérai. 176
Cassage à la main. . . . . *ibid.*
Cassage au marteau mu par l'eau. . . . *ibid.*
Cassage au bocard. . . . . *ibid.*
Description du bocard. 176
Description d'un bocard tournant. 177
Avantage de ce bocard. 178

CHAPITRE SECOND.

TRAITEMENT DES MINÉRAIS DE FER POUR EN OBTENIR DE LA FONTE OU DU FER CRU.

De la fonte brute ou de la fonte moulée. 179
Comment on obtient la fonte brute. . . *ibid.*
Division du travail de la fonte. . . . . . . *ibid.*
Des fourneaux à fondre le minérai de fer. 180
De l'invention des hauts fourneaux. . . *ibid.*

DE LA FORME EXTÉRIEURE DES HAUTS FOURNEAUX.

De la forme du massif. 181
Des embrasures. 182
De la plate-forme, de la bure, des batailles, des appentis et des cheminées. 183
Des ferrements, des cadres de bois qui retiennent l'écartement du massif. 184
Rapport entre la hauteur et la base du massif. . . . . *ibid.*
Discussion sur les meilleures formes extérieures. 185
Du nombre et des dimensions des embrasures. 187
Du pilier de cœur et de la tympe. . . . *ibid.*
Nom des quatre faces du massif. 188
Couvert et appentis qui environnent le massif. . . . . *ibid.*
Manière de parvenir à la plate-forme. . . 189
Inconvénient des fourneaux adossés contre les terrains. 190

DU VIDE INTÉRIEUR DES HAUTS FOURNEAUX.

Des diverses formes des cuves verticales, prismatique, pyramidale, prismatique pyramidale, pyramidale opposée, ellipsoïdale. 190
De la forme horizontale du ventre. 192
Usage de la cuve. . . . . *ibid.*
Expériences pour connaître la loi de la propagation de la température dans le sens de la hauteur du fourneau. 193
Causes qui modifient cette loi. 194
Explication de cette loi. . . . . *ibid.*
Expériences pour connaître la loi d'accroissement de la température, suivant les largeurs des tranches. 196
Manière de déterminer la température intérieure. . . . . *ibid.*
Explication que l'on peut donner de cette loi. 198
Effets de la chaleur rayonnante, et détermination d'une ligne verticale de plus haute température. 199

Examen de la loi de répartition et d'accroissement de la chaleur dans des fourneaux de différentes formes.............200
Pyramidal.......................201
Prismatique pyramidal.............203
Pyramidal opposé................*ibid.*
Ellipsoïdal......................*ibid.*
Du vide intérieur des cuves..........204
De la grande masse.................205
Du grand foyer...................*ibid.*
Examen des meilleures proportions déduites des dépenses de combustible.......206
De la comparaison des fourneaux qui ont des hauteurs différentes.............*ibid.*
Tableau *des consommations et des produits de vingt-cinq hauts fourneaux de Styrie et de Carinthie*....................208
Résultat de cette comparaison........209
Les consommations sont indépendantes des hauteurs.....................*ibid.*
Tableau *des consommations et des produits de seize hauts fourneaux de différents pays*..........................210
Résultat de cette comparaison........211
Les consommations sont indépendantes des hauteurs.....................*ibid.*
Comparaison des produits avec la hauteur des foyers supérieurs..............212
Les quantités de charbon brûlé sont indépendantes de ces hauteurs........*ibid.*
Comparaison des produits avec la forme des ventres......................*ibid.*
Les quantités de charbon brûlé sont indépendantes de ces formes..........*ibid.*
Comparaison avec le nombre des tuyères. ibid.
On ne peut rien conclure de cette comparaison.........................213
Comparaison de la dépense avec la richesse du minérai...................*ibid.*
Les minérais qui donnent depuis 0,26 jusqu'à 0,45 de fonte, présentent peu de différence dans leurs dépenses de combustibles........................*ibid.*
On ne peut déterminer les meilleures proportions que par tâtonnement......214
Quelles sont les hauteurs ordinaires des grands foyers, comparées à la hauteur totale des fourneaux.............215
Quelles sont les largeurs du ventre, comparées aux hauteurs totales........216
Proportions ordinaires de l'ouvrage....217
Proportions des étalages............*ibid.*
Expériences faites aux fourneaux de Conches..........................218
Usage de la cheminée supérieure......219
Proportions des cheminées supérieures.220
Proportions de l'ouverture du gueulard.221
Comment on reconnait si les formes doivent être changées..................*ibid.*
Expériences faites en Suède..........222
Comment on doit déterminer la hauteur la plus avantageuse.................223
Comment on doit déterminer les hauteurs et les largeurs les plus favorables des étalages..........................224
Comment on doit déterminer l'ouverture la plus avantageuse du gueulard......225
Des creusets et de leur capacité..... *ibid.*
Des différents creusets pyramidaux, courbes et rectangulaires.................227
Des dimensions ordinaires des creusets et des différentes formes qu'on leur donne..228
Des variations que les creusets doivent éprouver relativement aux minérais fusibles, moyennement fusibles et réfractaires, que l'on y fond......................230
Tableau *des dimensions des différents creusets des hauts fourneaux, relativement aux minérais qu'on y traite*............231
Observations......................*ibid.*

Pourquoi l'on n'a pu rien déduire des rapports qui ont été établis, des produits comparés à la forme et aux dimensions des fourneaux........232
Les bonnes proportions des fourneaux ont une latitude très-étendue.......... ibid.

DE LA CONSTRUCTION DES HAUTS FOURNEAUX.

Choix de l'emplacement du fourneau, relativement à la proximité des matières, des machines, des combustibles et des minérais........233
Choix de l'emplacement relativement aux terrains........234
Quelle forme doit avoir la cuve lorsque le fourneau est adossé........235
De la fondation d'un fourneau sur un roc........238
De la fondation d'un fourneau sur une terre argileuse........ ibid.
De la fondation d'un fourneau sur un terrain meuble........ ibid.
Des grilles de bois........ ibid.
De la fondation d'un fourneau sur un terrain marécageux........230
Des pilotis........ ibid.
Poids du massif supporté inégalement.. ibid.
Des pierres de la fondation........240
Des canaux d'évaporation........ ibid.
Des courants d'eau dans les canaux....241
Elévation des fondations........ ibid.
Tracé du fourneau, des embrasures, du pilier de cœur........242
Profil de l'axe........ ibid.
De l'enveloppe, des parois, du double muraillement, et de leur construction..243
De la construction des voussures et des marâtres........244
De la distribution des barres de fer qui lient le massif........245
Du revêtement en bois de quelques fourneaux de Suède........246
De la construction des parois de la cheminée supérieure et de l'espace dans lequel doit être placé le grand foyer........247
De la plaque de sole........ ibid.
De la construction du creuset, de l'ouvrage et des étalages........248
De la position de la tympe........249
De la position de la tuyère........ ibid.
Diverses formes des parois........ ibid.
Des parois des ouvrages en fer........250
Construction à l'aide de cordeaux, de planches ou de calibres........251
Des petits canaux à établir dans le double muraillement........252
De la nature des pierres du double muraillement........ ibid.
Des qualités que doivent avoir les pierres des parois........253
Comment on les essaie........ ibid.
De l'usage de la pierre à chaux........254
Des briques argileuses........255
Des briques de laitier........ ibid.
Des parois et des fausses parois........256
Description de plusieurs hauts fourneaux. ib.
Du fourneau de Neuberg, en Styrie.. ibid.
D'un haut fourneau de Carinthie.... ibid.
Du fourneau à deux tuyères, de Vordernberg........ ibid.
D'un haut fourneau de Carinthie....257
Du fourneau de Mossing........ ibid.
D'un haut fourneau à deux tuyères, d'Eisenartz........ ibid.
D'un fourneau de Carinthie........ ibid.
Du fourneau à deux tuyères, de Treyback........ ibid.
D'un fourneau à couler de la marchandise

en fonte........................257
D'un fourneau prismatique de Bohême.. *ib.*
Du fourneau du comte de Wrbna.....258
Du fourneau prismatique pyramidal, de Laurwige en Norwège........... *ibid.*
Des fourneaux de Saxe............ *ibid.*
Du fourneau de Johan-Georgenstadt.. *ibid.*
Des fourneaux de Suède, d'après Swedemborg......................... *ibid.*
Des fourneaux de Suède, d'après Garney. *ib.*
Du fourneau elliptique de Grignon....259
Des fourneaux de Liége............ *ibid.*
Des fourneaux de Grossouvre........ *ibid.*
Des hauts fourneaux de Schmalkalden. *ibid.*
Du fourneau d'Hebetheim.......... *ibid.*
D'un fourneau de Laurwige......... *ibid.*
Du fourneau à deux tuyères, de Bergen. *ibid.*
Du fourneau de Petrokamenskoi......260
Du fourneau à trois tuyères, de Preuilly. *ib.*
Du fourneau à deux tuyères, de Newiamskoi........................... *ibid.*
Du fourneau du Creuzot........... *ibid.*
Du fourneau d'Albernaut, à deux tuyères dans une seule embrasure, et à deux coulées dans deux embrasures opposées. *ibid.*
Du fourneau de Gleiwitz........... *ibid.*
Des fourneaux à deux tuyères en usage dans la Shropshire.....................261
Du fourneau de Glamorgau......... *ibid.*
Des fourneaux anglais à deux tuyères, d'après O'Relly.................. *ibid.*
Du fourneau du comte de Sternberg, formé d'une cuve et d'un double fourneau de réverbère...................... *ibid.*

FIN DE LA TABLE DU PREMIER VOLUME.

ERRATA DU PREMIER VOLUME.

Pages.	*Lignes.*			
3	(*Note* 6)	une monticule	*Lisez*	un monticule.
10	14	ne doivent	—	ne doit.
18	20	cornidon	—	corindon.
41	14	cette écart	—	cet écart.
42	9	docimatiques	—	docimastiques.
53	7	Junckel	—	Stünckel.
53	(*Note* 1)	n° 16	—	n° 93.
53	13	asbest	—	asbeste.
107	5	Saint-Pancrais	—	Saint-Pancré.
107	19	hornstène	—	hornstein.
120	13	asbest	—	asbeste.
120	13	hornbleind	—	hornblende.
123	15	Thuringue	—	Thuringe.
129	20	voix	—	voie.
169	12	arséniacales	—	arsenicales.
169	(*Note* 2)	d'Arceuil	—	d'Arcueil.
176	5	scond	—	second.
183	5, 11 et 18	buze	—	burre.
183	28	cette onverture	—	cet appentis.
184	12	leurs solidités	—	leur solidité.
185	33	posés	—	posée.
195	9	qu'ils rencontrent	—	qu'il rencontre.
195	14	propogeant	—	propageant.
198	3	pouvaient être prévues	—	pouvait être prévue.
199	9	manières	—	manière.
206	27	varient	—	varie.
213	3	consnment	—	consume.
215	1	soit	—	soient.
220	30	*supprimez* et.		
222	24	diverses	—	divers.
222	27	exécutée	—	exécutées.
242	31	inclinée	—	incliné.
245	8	d'issue	—	d'issues.
255	28	n° 26	—	n° 96.
260	9	Prenilly	—	Preuilly.
260	12	Rewiamskoi	—	Newiamskoi.
260	32	Glowitz	—	Gleiwitz.



L'ART
DE TRAITER LES MINÉRAIS DE FER
POUR EN OBTENIR DE LA FONTE, DU FER OU DE L'ACIER.

INTRODUCTION.



En général, tous les arts dont les productions peuvent être considérées comme d'une nécessité absolue, doivent remonter à une antiquité très-reculée, et, c'est ce qui arrive presque toujours. Les lieux et les circonstances favorisent-ils les hommes dans leurs découvertes, ils s'y attachent avec un empressement tout-à-fait admirable. C'est ainsi qu'ont pris naissance, dans les pays policés, l'agriculture, la fabrication des tissus, la construction des édifices, etc. etc.

Par leurs importantes propriétés, les métaux jouissent de l'avantage de pouvoir être employés à de nombreux usages. Le fer est, sans contredit, celui dont l'utilité est la plus générale. Aussi paraît-il être connu depuis une longue suite de siècles.

L'histoire ancienne nous fournit des détails très-intéressants et qui prouvent très-évidemment, que les nations policées faisaient usage du fer dans les sacrifices et dans les combats; mais comme elle nous a été transmise par les Hébreux, les Grecs et les Romains, nous n'avons connu pendant long-temps que les peuples avec lesquels ils avaient eu des relations. Depuis, la boussole a été inventée, et alors de longs voyages sur mer ont fait connaître de nouvelles nations. Des voyageurs dignes de foi nous ont appris que tous les peuples policés, qui habitent l'ancien continent, font usage du fer et de l'acier. Les Persans, les Indiens, les Siamois, les Chinois, extraient des minérais et forgent le fer depuis

un temps immémorial. Des peuples sauvages même, tels que les Hottentots, possèdent l'art de préparer et de forger le fer depuis plusieurs siècles.

Quoique tout semble prouver que le travail du fer soit d'une haute antiquité, et qu'il soit impossible de désigner exactement l'époque et les auteurs de sa découverte, il y a cependant des historiens (1) qui paraissent vouloir l'assigner positivement.

Moïse attribue la découverte du fer à Tubalcaïn (2); les Egyptiens et les Grecs à Vulcain (3); d'autres à Prométhée (4); les Goths à Odin (5);

---

(1) Hésiode, cité par Pline, lib. VII, cap. LVI; Strabon, lib. X; Diodore de Sicile, lib. XV, cap. IV; Clément d'Alexandrie, pag. 307; Eusèbe, préparation évangélique, les marbres d'Oxford; enfin, plusieurs historiens reportent l'invention du fer à l'année 1432 avant J. C. On pourrait en quelque sorte conclure de-là qu'il y aurait trente-deux siècles qu'on a fait l'importante découverte de ce métal.

(2) Tubalcaïn était fis de Sella et de Lamech le Bigame. Son père naquit l'an 3130 avant J. C. On lit dans la Genèse, chap. IV, vers. 23 : *Sella quoque genuit Tubalcaïn qui fuit malleator et faber in cuncta opera æris et ferri.* Tubalcaïn, en hébreu, signifie *mandata, possessio.* On donne au nom de Tubalcaïn, deux significations; on le fait venir de *Tubal*, pays de *Tubal*, que l'on croit être l'Ausonie; et de *Caïnan*, possesseur, ce qui ferait, mot à mot, possesseur de l'Ausonie. *Tubal*, en arabe, signifie *scorie de fer; Caïn*, acquisition; *Tubalcaïn* signifierait donc *celui qui acquiert, qui fait des scories de fer.*

(3) Cicéron distingue quatre Vulcains : le premier, fils du Ciel; le second, fils du Nil; le troisième, fils de Jupiter et de Junon; et le quatrième, fils de Menalius. Vulcain (celui qui est fils de Jupiter et de Junon), dit Diodore de Sicile, fut le premier qui fabriqua des ouvrages de fer, d'acier, d'or et d'argent. C'est pour cette raison que tous ceux qui travaillent les métaux, ou plutôt tous les hommes en général, donnent au feu le nom de Vulcain.

Le Vulcain de la Fable (d'après Dom Calmet, Comm. de la Bible), paraît tiré de Tubalcaïn. Leurs noms et leurs métiers sont parfaitement les mêmes. Le nom de Volcan, donné aux grands embrasements souterrains, à ces masses de feu qui sortent du sein de la terre, et qui forment de très-hautes montagnes, vient du latin *Vulcanus*, Vulcain.

On donne ordinairement le nom de Cyclopes aux forgerons de Vulcain. Les uns disent qu'ils étaient fils du Ciel et de la Terre; d'autres, qu'ils étaient fils de Neptune et d'Amphitrite : on les représente avec un œil au milieu du front. Quelques historiens

enfin, chaque nation honore de cette importante découverte un héros particulier, véritable ou fabuleux.

Les Egyptiens, dit Agatharchides, faisaient extraire des minérais par leurs esclaves. Pour l'extraction de ces minérais, ils faisaient usage du feu et de ciseaux de fer. Lorsqu'ils les avaient ainsi extraits, ils les pilaient dans des mortiers de ce même métal. Les Assyriens se servaient aussi du fer dans les combats. Dans leurs relations commerciales, les Phéniciens et les Carthaginois qui leur ont succédé, échangeaient du fer contre des marchandises d'une très-grande valeur. Les Grecs forgeaient le fer. Les Lacédémoniens s'en sont servi pour faire leur monnaie. Les Athéniens en faisaient extraire une très-grande quantité de l'île d'Eubée. Les Romains, les Germains, les Gaulois et les Celtibériens, avaient des épées d'acier. Les Scythes, selon Hérodote, adoraient une épée de fer (6).

---

placent leurs forges dans l'île de Lemnos où s'est retiré Vulcain, après avoir été précipité du ciel sur la terre, ou, si l'on veut, après avoir encouru la disgrace de Jupiter à qui il avait rendu de grands services. Homère et Théocrite disent que les Cyclopes furent les premiers habitants de la Sicile. Agricola croit que cet œil unique que l'on donne aux Cyclopes, est par allusion à un morceau de peau qui formait comme un masque qui n'avait qu'une seule ouverture par où l'on respirait et d'où l'on tirait la lumière. Les forgerons se servaient de ces sortes de masques pour se garantir de l'action du feu, lorsqu'ils travaillaient à feu découvert.

(4) Prométhée fut condamné à avoir les entrailles dévorées par un vautour, pour avoir dérobé le feu du ciel. Noël, dans son Dictionnaire de la Fable, croit que ce feu n'est autre chose qu'une allégorie des forges qu'il établit dans la Scythie.

(5) Odin, conquérant et législateur du Nord, est le plus ancien des Dieux du second ordre. Il vint avec ses compagnons, des bords de la mer Noire, où l'on fabriquait du fer depuis long-temps; quelques-uns de ses sujets apportèrent dans le Nord l'art de fabriquer le fer et les autres métaux.

(6) A Véla, près Bapaume, on trouva des épées d'acier sous une monticule qui recouvrait plus de cent squelettes de Gaulois. On en trouva aussi dans les fouilles du Châtelet et dans celles d'Herculanum. Il y a à Portici, dit Winckelmann, une épée de fer qui vient d'Herculanum : il assure qu'elle a plus de trois palmes romaines de long; que son fourreau est garni de gros clous plats, et qu'elle ressemble à l'épée d'Agamemnon et à celle qu'Ajax reçut d'Hector.

Diodore rapporte que les habitants de l'île de Crète (1) parvinrent les premiers à forger ce métal dans les cavernes du Mont-Ida. Ici la fable vient encore obscurcir la vérité de son voile; d'autres assurent que les forêts de cette montagne ayant été embrasées par le feu du ciel, l'an 73 après le déluge de Deucalion, les Dactyles qui l'habitaient apprirent l'art de forger le fer jusqu'alors inconnu : il semblerait aussi que ce serait du Mont-Ida qu'Odin et ses compagnons, partis de l'Orient, auraient apporté l'art de forger le fer en Scandinavie.

On parle dans les livres hébreux (2) de deux sortes de fer; l'un, travaillé dans le pays qu'habitent les Hébreux; l'autre, qui y avait été apporté du nord de la Judée (3). Il paraîtrait, d'après quelques passages des livres saints, que les Hébreux fabriquaient le fer chez eux, et qu'ils tiraient l'acier de l'étranger; les noms de *Istoma*, *Calcoma*, qu'ils lui donnaient, paraissent être dérivés du grec (4).

---

(1) Les premiers habitants de l'île de Crète, dit Diodore, étaient ces Dactyles qui habitaient sur le Mont-Ida. Livrés aux cérémonies théurgiques, ils eurent pour disciple Orphée, qui porta en Grèce leurs mystères, et l'usage du fer et du feu jusqu'alors inconnu. On n'a pas de données certaines sur l'origine des Dactyles indiens; les uns croient que ce sont les enfants du Soleil et de Minerve; selon d'autres, ce sont les enfants de Saturne et d'Alciope. Stosimbrote les dit fils de Jupiter et de la nymphe Ida. Strabon porte à une centaine le nombre des Dactyles qui habitaient l'île de Crète. Il y avait, selon Sophocle, cinq Dactyles à qui l'on attribuait l'invention du fer. Pausanias les nomme Hercule, Péonée, Epimède, Jasius et Ida. Il paraîtrait, d'après Diodore, que ces Dactyles auraient établi leurs ateliers sur le Mont-Ida de Phrygie, et sur le Mont-Ida de Crète.

(2) Moïse fait remonter beaucoup plus haut l'art de travailler le fer. Il serait connu, selon le rapport de ce savant législateur, depuis plus de quarante-sept siècles et demi; car Tubalcaïn qui, d'après la Genèse, inventa ou perfectionna l'art de battre ou de forger le fer, dont il fabriqua les armes, naquit l'an du monde 1057.

(3) Isaï, 44, 12, en parlant du fer de Judée, dit : Le forgeron fléchit le fer, le travaille au feu de charbon et à force de bras. Jérémie, 15, 12, appelle fer septentrional, ou fer du Nord, l'acier qui venait de la Calybie.

(4) Les Grecs donnaient au fer le nom de Σιδερον, Αδαμας, et à leur acier celui de Χαλυψ, Χαλκωμα, Στομωμα, Ινδικον Σιδερον. Ce nom d'Αδαμας, attribué au fer et à

Quelque obscure que soit l'origine du travail du fer, on voit donc que ce métal est connu depuis une époque très-reculée, et qu'il serait

---

l'acier, a été donné par les poètes aux pierres fines; moyen très-ingénieux pour donner une idée de leur dureté.

Le nom de Στομωμα, que les dictionnaires grecs conservent encore pour l'acier, paraît, d'après Pollux, v. 3, page 21, avoir été particulièrement employé pour indiquer le fer de trempe; car Στομωσαι se disait de l'action de tremper. Aussi les Grecs, du temps d'Homère, appelaient-ils l'acier Σιδερον Στομωμα.

L'expression Ινδικον Σιδερον, que les Grecs ont donnée au fer des Indes, pourrait faire croire que le premier acier qu'ils ont employé leur venait de l'Asie, et que ce serait des Indiens qu'ils auraient appris l'art de travailler ce précieux métal. Clément d'Alexandrie, en parlant du luxe, dit : *On peut couper sa viande sans avoir besoin du fer des Indes.* Pédagogie 2, page 161, édit. de Cologne, 1688.

L'acier des Indes est encore connu aujourd'hui sous le nom de *Wootz :* on en envoya un morceau, en 1795, à la Société royale de Londres. D'après le compte rendu dans les Transactions philosophiques, page 222, année 1795, on croit que c'est un acier fondu.

Le nom de χαλυψ, que les Grecs ont donné à l'acier, et que les Latins ont conservé, appartient aussi à plusieurs peuples. Les anciens géographes en distinguaient trois qui portaient ce nom. Le premier habitait les montagnes de l'Arménie; le second, la Troglditie; le troisième, l'Hispanie (Espagne), sur les bords de la rivière Chalybs, aujourd'hui *Cobe.* Le premier de ces peuples paraît être une colonie scythe, aujourd'hui tartare. Il tirait son nom de Chalybs, fils de Mars. Le pays montagneux qu'ils habitaient abondait en fer; les habitants s'occupaient à le travailler, et en faisaient un grand commerce. Cette nation industrieuse et brave s'était répandue dans plusieurs pays; elle occupait la partie du pont qui est entre la petite Arménie et le Pont-Euxin. Elle possédait Amissus, Sinope et un territoire considérable en deçà du fleuve Halys. Pline, qui nous a fait connaître les Chalybs d'Afrique, donne peu de détails sur ce peuple : quant à celui d'Espagne, dit ce savant naturaliste, il excellait dans l'art de fabriquer les armes. Les eaux de la rivière sur les bords de laquelle ils avaient formé leurs habitations, avaient la réputation de donner à l'acier une trempe excellente.

Est-ce du nom de cette grande nation scythe, qui travaillait le fer sur les montagnes de l'Arménie, qu'est dérivée l'épithète de Chalybs que les Latins ont conservée à l'acier? ou bien est-ce de l'acier qu'elle fabriquait que cette nation a reçu l'épithète? C'est une question qu'il serait peut-être bien difficile de résoudre aujourd'hui; ce qu'il y a de certain, c'est que cette identité qui existe entre le nom de la nation et celui de la substance qu'elle travaillait, est tout-à-fait remarquable.

Homère, en parlant des armes que Vulcain forgea pour Achille, dit : « Il jette dans « la fournaise embrasée, des barres d'étain et d'airain avec des lingots d'or et d'argent.

difficile d'assigner : on voit encore qu'il existait dans les montagnes d'Arménie, dans l'île de Crète, depuis trente-deux siècles environ, des forgerons qui y fabriquaient du fer et de l'acier; ce qui avait donné à ce peuple une grande réputation, qu'il avait acquise par les échanges qu'il faisait de ces métaux; enfin, que les Indiens connaissaient depuis long-temps le travail de l'acier.

Plusieurs savants pensent que le travail de l'or, de l'argent, du cuivre, de l'airain (alliage de cuivre et d'étain), a précédé celui du fer. Une des preuves les plus séduisantes, et qu'ils apportent à l'appui de leur opinion, c'est que les substances métalliques que l'on trouve dans les fouilles anciennes sont toutes d'or, d'argent, de cuivre ou d'airain. Les anciens guerriers, disent-ils, étaient enterrés avec leurs armes, que l'on retrouve encore dans leurs tombeaux, et elles sont de bronze ou d'airain. Mais Fourcroy observe avec raison (1) que dans cette appréciation on n'a pas assez compté sur la *destructibilité* si facile du fer, comparée à l'*indestructibilité*, ou au moins à la *durabilité*, beaucoup plus grande, du cuivre et de ses alliages. Ils ajoutent, qu'au rapport d'Hésiode, les armes des héros grecs étaient de bronze et non de fer. Mais, de ce que les armes de Diomède et de quelques autres étaient d'airain, doit-on en conclure que les héros du temps du siége de Troie ne connussent pas le fer? non, sans doute; car Troie fut prise et détruite, il y a trente siècles, et de l'aveu même d'Hésiode, on fabriquait du fer en Crète deux siècles auparavant. La conclusion la plus raisonnable que l'on puisse tirer, est donc celle du comte de Caylus (2) : que

---

« Il place une grande enclume sur son pied, prend d'une main un pesant marteau, de « l'autre de fortes tenailles, et se met à travailler au bouclier, etc. »

(1) Connaissances chimiques, tome 6, page 106.

(2) Le comte de Caylus parle d'une hache de fer et d'un autel consacrés à Mars, trouvés dans les fouilles du palais Borghèse, d'une petite statue d'Hercule, en fonte de fer, dont le caractère porte l'empreinte des travaux des Etrusques; elle peut avoir une date de vingt et un siècles environ. Au reste, Hésiode s'est servi du mot ἀδάμας, pour désigner la matière dont on fabriqua le casque d'Hercule, qui existait

la rareté du fer fut la seule cause qui empêcha les Anciens de s'en servir. Cela est si vrai que, du temps des premiers Romains, presque toutes les armes étaient de bronze, et cependant leur existence n'a pas plus de vingt-trois siècles, puisque Romulus fonda Rome 752 ans avant J. C.

Lorsque l'on compare le travail du fer pour le rendre malléable, avec celui qu'exigent les autres métaux, on a quelque envie de partager cette opinion, que l'usage de l'or, de l'argent, du cuivre et de l'airain, a précédé celui du fer. En effet, l'or se trouve presque toujours à l'état natif : on extrait beaucoup d'argent pur; la plupart des minérais de cuivre sont simplement oxidés. Il suffit alors de fondre ces trois métaux : l'or et l'argent peuvent être fondus sans y ajouter de désoxidant quelconque, tandis qu'il faut que le cuivre soit en contact avec du charbon, pour l'obtenir dans un état tel qu'il puisse être étendu sous le marteau. Le fer, au contraire, ne produit, par la fusion, qu'une fonte plus ou moins cassante à laquelle il faut faire éprouver un raffinage, et qu'il faut ensuite reporter rouge sous le marteau pour y être forgée. Les difficultés que présente ce travail supposent des connaissances déja acquises en traitant des métaux plus faciles. On voit, en effet, chez plusieurs nations du nouveau continent des deux Amériques, qu'on y connaissait depuis long-temps l'art de préparer l'or, l'argent et le cuivre, tandis que le fer y était en quelque sorte inconnu; quoique cependant les minérais de ce métal y fussent abondants, et que l'on eût extrait du fer dans les États-Unis, depuis que les Européens y ont envoyé des colonies.

Lorsque, par quelque circonstance particulière (1), les hommes ont

---

avant le siége de Troie. Homère l'employa aussi pour raconter l'aventure d'Ulysse. Lorsque ce héros brûla l'œil de Polyphème avec un tison ardent, cet œil, dit le poète grec, rendit un son semblable à celui que produit le fer rougi, lorsque les forgerons le trempent dans l'eau pour le durcir. Ces deux circonstances ne prouvent-elles pas assez que le fer et l'acier étaient connus dans le temps où ces deux hommes illustres écrivaient.

(1) Un embrasement de forêts, une explosion de volcan, pourraient avoir produit de

trouvé de l'or, de l'argent et du cuivre; qu'ils ont eu acquis l'art de préparer ces métaux, ils ont dû rechercher avec un soin particulier les minéraux qui avaient un éclat métallique, pour les soumettre à l'action du feu. Le fer, que l'on trouve souvent à l'état d'oxidule et avec l'éclat métallique, a dû nécessairement fixer leur attention; mais quel est l'ordre des découvertes relativement au travail de ces différents métaux? Cette question si curieuse ne peut être résolue que par des conjectures plus ou moins probables; et tout ce qu'on peut dire à cet égard, c'est que les minérais métalliques, dont l'éclat naturel excite l'attention et les recherches, ont dû être les premiers traités; car l'usage de traiter des substances métalliques est très-ancien parmi les hommes.

Cependant une autre question pleine d'intérêt, serait de savoir quelle a été la marche progressive de l'art de travailler le fer, pour arriver à ce degré de perfection où il se trouve maintenant.

Pline, et tous les anciens naturalistes qui auraient pu nous laisser des détails exacts sur les procédés que l'on employait de leurs temps, ne nous ont donné que quelques fragments sur ce travail, encore sont-ils imparfaits. Aristote (1) parle, dans deux endroits différents, du travail de l'acier de fusion; et le peu qu'il en dit est très-incomplet. Diodore (2) de Sicile, Plutarque (3), décrivent aussi les procédés des Celtibériens, touchant la fabrication de leur acier. Nous verrons à l'article *acier*, dans lequel nous rapportons ces procédés, combien ils étaient inexacts. Agricola (4) paraît être le seul des anciens que l'on puisse consulter avec

---

l'or et de l'argent malléables; de là, l'art de travailler les métaux. Malgré que l'on ait discuté long-temps sur l'existence de quelques masses de fer natif, trouvées en Sibérie et dans d'autres pays, ce qu'il y a de bien difficile, c'est de penser que les grands effets de la nature aient pu être les indices précurseurs de l'art de forger le fer, comme l'assurent plusieurs historiens.

(1) Ansoult. Mirab., cap. 49, pag. 94. Meteorol. IV, 16.

(2) Decad., lib. V, 33, pag. 356, edit. de Wesel.

(3) De Garrulitate, edit. Francofurti, 1650, fol. 11, pag. 510.

(4) Les méthodes en usage du temps d'Agricola, existent encore aujourd'hui dans les Pyrénées, en Corse, dans le nord de l'Europe, en Angermanie, dans la Dalécarlie, en

confiance. L'ouvrage immortel que ce célèbre écrivain publia, en 1556, sous le titre de *De re Metallica,* donne des détails exacts sur les travaux des mines, exécutés dans le seizième siècle.

De son temps, on employait, pour traiter les minérais, trois procédés différents, qui étaient relatifs à la fusibilité de chaque minérai. Les plus fusibles étaient traités dans des espèces de forges (Planche I, fig. 1), par une méthode semblable à celle dont on se sert encore aujourd'hui, et que l'on appelle *Méthode à la Catalane.* Ceux, au contraire, qui étaient un peu moins fusibles, étaient traités dans des fourneaux de trois pieds de haut sur cinq de large (fig. 2). Le minérai concassé était jeté avec du charbon par le *gueulard.* Des charges successives remplaçaient le minérai fondu et le charbon brûlé. La combustion était activée par deux soufflets à main qu'un homme faisait mouvoir; après douze heures d'une forte chaleur, on coulait les scories et l'on trouvait au fond du fourneau une masse de fer que l'on portait sous le marteau pour y être cinglée. Si le minérai était encore plus difficile à fondre, on le grillait, on le concassait, et on le fondait dans des fourneaux plus élevés (fig. 3). D'après les figures qu'Agricola a jointes au texte de son ouvrage, ces fourneaux paraissent avoir de cinq à six pieds de haut : quelquefois on portait la fonte sous le marteau immédiatement après l'avoir obtenue; dans d'autres instants, on la faisait fondre de nouveau pour être purifiée et cinglée ensuite.

Les fourneaux de six pieds, employés du temps d'Agricola, n'étant pas assez grands pour fondre des minérais plus réfractaires, on les a exhaussés successivement. Jars et Duhamel ont décrit les moyens fourneaux qu'ils avaient vus en Styrie et en Carinthie. Il en existe encore plusieurs qui sont connus sous le nom de *stuck offen,* fourneau à masse, et *fluss offen,* fourneau de fusion; les premiers sont les plus anciens. Dans ces sortes de fourneaux, on traite les minérais selon la méthode

---

Syrie, chez les Hottentots, et dans plusieurs pays où les arts n'ont pas acquis un haut degré de perfection. Nous ferons connaître ces procédés quand nous traiterons de l'art de fabriquer le fer.

d'Agricola, ou d'une manière analogue. Les *stuck* et les *fluss offen* n'ayant que dix à douze pieds de haut, il fallait, pour fondre des minérais réfractaires, une consommation considérable de charbon; on ne les laissait que six jours en feu, afin d'économiser le combustible : on a élevé successivement les *fluss offen*, et on les a tenus plus long-temps en feu. On voit maintenant, en Autriche, quelques fourneaux qui ont vingt-huit pieds de haut; il y en a plusieurs qui ont jusqu'à trente pieds (1).

Dans la majeure partie des fourneaux, on emploie, pour combustible, du charbon de bois. Dans quelques fourneaux de France, d'Allemagne, et dans la presque généralité des fourneaux d'Angleterre, on fait usage aujourd'hui de charbon de houille. La préparation que l'on fait subir au bois, dont on se sert pour la fonte des minérais et sa carbonisation, ne doivent avoir été en usage qu'après s'être long-temps servi du bois en nature, et après s'être assuré que la chaleur obtenue, avec du bois sans préparation, était insuffisante pour la fonte de nouveaux minérais de fer. A Groningue dans l'Angermanie (2), on fait encore usage du bois en nature pour fondre ces minérais. C'est en Angleterre que l'usage du charbon de houille a pris naissance. L'épuisement des forêts et la difficulté qu'on éprouvait à se procurer du charbon de bois nécessaire à la consommation, ont donné lieu à cet usage, qui maintenant

(1) On donne le nom de *hauts fourneaux* à ceux qui ont plus de douze pieds. Leur hauteur varie entre quinze à soixante pieds. Dans l'ouvrage d'Agricola, imprimé en 1556 (que l'on peut considérer comme un recueil exact dans lequel l'auteur a parlé de toutes les opérations métallurgiques qui existaient alors), il n'est question que des fourneaux de cinq à six pieds de haut; cependant O'Relly assure (*) qu'il existait en Angleterre, dans le milieu du quinzième siècle, des fourneaux assez grands pour fondre, avec du charbon de bois, quarante à soixante quintaux de fonte de fer dans vingt-quatre heures. Or, des fourneaux qui produisent cette quantité, devaient avoir dix-huit à vingt pieds de haut. De tels fourneaux n'auraient pas dû échapper aux connaissances et aux recherches d'un savant aussi instruit que le fut Agricola.

(2) Art des forges de Swedemborg, section I, §. 3.

(*) Annales des arts et manufactures, tome 6, page 226.

se propage dans tous les pays où il existe de la houille. Nous allons donner le récit historique de cette découverte; nous l'avons copié littéralement dans les Annales des arts et manufactures (1).

« Vers le commencement du dix-septième siècle, M. Sturtevant inventa « le procédé de la fabrication du fer avec de la houille. Cette découverte « parut tellement importante, que le roi Jacques lui accorda un privilége « exclusif, pendant trente-un ans, à condition qu'il publierait ses découvertes; ce qu'il fit dans son *Metallica*. Cependant M. Sturtevant n'ayant « pas réussi fut obligé de rendre ses lettres de monopole. M. Rovenson « lui succéda; il obtint aussi une patente pour de nouveaux procédés. « Il publia ces procédés dans son *Metallica*, en 1613. Plusieurs artistes « après lui obtinrent aussi peu de succès. Et ce ne fut qu'en 1619 que « Dudley a définitivement fixé l'époque à laquelle ce procédé a réussi. « C'est dans les forges de Worcester à Pensent, qu'il établit les premières « forges où l'on ait fabriqué avec du coaks (charbon de houille); et ce « procédé a été jugé si important, que sa patente a été réduite de trente-« un ans à quatorze; ses succès effrayèrent les autres fabriquants. Ils se « coalisèrent contre lui, et ameutèrent des ouvriers qui détruisirent de « fond en comble tous ses ateliers et ses usines. Pendant le travail de « Dudley, le capitaine Buck, le major Wildman et autres, essayèrent « de fabriquer de la fonte, en construisant de vastes fourneaux à vent, « munis de creusets, comme ceux des verreries, et dans lesquels ils « avaient introduit le mélange nécessaire de mine, de castine et de charbon. Ces fourneaux étaient chauffés avec de la houille, et on espérait « qu'en perçant le fond des pots, on pourrait faire couler la fonte; mais « ce procédé était impraticable. La chaleur n'était pas suffisante; les pots « ou creusets crevèrent, et l'entreprise fut abandonnée.

« Les malheurs des guerres civiles, en détruisant les espérances futures « de Dudley, firent tomber ses procédés dans l'oubli. Ce ne fut qu'en 1740 « qu'ils reprirent. La découverte des pompes à vapeur et leur application

(1) Tome 6, pages 228 et suiv.

« aux usines, en affranchissant les fabrications des positions locales, « pour établir ces machines sur des cours d'eau, donna en même-temps, « si je peux m'exprimer ainsi, l'élan à ce genre d'industrie. On se con- « tenta d'abord d'augmenter la dimension des hauts fourneaux et la quan- « tité de vent, au point d'obtenir de seize à vingt milliers de fonte par « semaine (c'est-à-dire, de vingt à trente quintaux par jour); mais depuis « on a travaillé continuellement aux moyens d'augmenter leurs produits « jusqu'à ce qu'enfin ils soient parvenus aux points où ils sont aujour- « d'hui. Mais c'est sur-tout depuis l'invention des machines soufflantes « et des caves à air que les fourneaux anglais produisent communément « quatre-vingt milliers de fonte par semaine (cent quatorze quintaux par « jour); il y a même des forges, dans la province de Galles, où l'on voit « des hauts fourneaux qui produisent cent quarante à cent quarante- « quatre milliers par semaine (deux cents à deux cent six quintaux par « jour). Que l'on compare maintenant cette quantité étonnante à celle « qu'obtenait le malheureux Dudley, qui se contentait du dixième! »

On a observé, en Suède (1), avec un soin particulier, toutes les améliorations qu'avait éprouvées le travail du fer depuis deux siècles. Le Gouvernement créa une administration qu'il chargea du soin exclusif de surveiller ces travaux et de les perfectionner. Il plaça, à la tête, des hommes d'un mérite distingué, qui ont publié plusieurs ouvrages sur le travail du fer. Ces ouvrages, dans lequel l'art est traité avec la précision la plus parfaite, ont mérité à leurs auteurs toute la gloire dont ils étaient dignes. On distingue, dans le nombre, *l'excellent Traité du fer de Swedemborg*, *l'Histoire du fer par Rinmann*, la *Construction des hauts fourneaux*, et la *Fonte des minérais de fer de Garney, etc. etc.*

Les fourneaux suédois, qui existaient alors, avaient environ de dix à quinze pieds de haut; ils étaient mal construits, peu solides, et n'avaient

---

(1) Gustave fit, en 1604, un réglement connu sous le nom de *Hosokoping*, qui attira un grand nombre d'ouvriers étrangers en Suède, et c'est de cette époque mémorable que paraissent dater les améliorations que l'art a éprouvées dans ce pays.

point d'étalage. On rétrecissait le fond en y laissant tomber du sable, qui formait un talus (fig. 4), et qui empêchait de travailler dans l'intérieur avec des ringards. Les soufflets étaient en cuir et produisaient peu de vent : le fourneau n'allait quelquefois que pendant cinq à six semaines; il restait rarement en feu pendant dix semaines. Survenait-il quelque accident, on était obligé de *mettre hors*, à cause de la difficulté qu'on éprouvait à travailler dans l'intérieur. Quoique ces fourneaux fussent très-défectueux, on est presque porté à croire qu'ils avaient été introduits par des Allemands, et que c'est à des ouvriers de cette nation que l'on doit le changement de bas fourneaux employés originairement, et qui ont été remplacés par des moyens fourneaux, dont on fait usage depuis quelques siècles. Cette conjecture est fondée presque entièrement sur la grande quantité d'expressions allemandes que les ouvriers ont adoptées dans le travail du fer. Lorsque, par le réglement de Hosokoping, les Allemands vinrent s'établir en Suède, ils y apportèrent leur méthode; ils donnèrent aux fourneaux beaucoup plus d'élévation, puisqu'ils les montèrent jusqu'à vingt pieds. Ils les construisirent plus solidement; ils y pratiquèrent des étalages (fig. 5), ainsi que des ouvertures à différentes hauteurs, dans la tympe, afin de pouvoir faire couler le laitier de manière à ne laisser la fonte recouverte que d'une très-petite épaisseur de ce verre terreux. On put donc alors travailler avec des ringards dans l'intérieur des fourneaux, et on pouvait y fondre pendant vingt à trente semaines de suite : les artifices étaient beaucoup mieux exécutés; on fit ensuite usage des soufflets de bois qui produisirent un volume d'air beaucoup plus considérable.

En 1650, Louis de Gier fit venir de Liège et de Namur, en Suède, soixante-trois familles, toutes composées d'ouvriers. Ces forgerons, wallons ou français, apportèrent encore un nouveau perfectionnement dans le travail du fer; ils construisirent des fourneaux qui pouvaient avoir de vingt-quatre à vingt-sept pieds de haut (fig. 6); les étalages étaient élevés environ à dix ou douze pieds au-dessus du fond; les scories s'écoulaient au-dessus de la dame : ce seul changement leur procura de la fonte grise que l'on n'obtenait pas ordinairement. Les soufflets étaient

en bois; les artifices étaient bien construits; le dessous du creuset était préservé de l'humidité par le moyen de canaux dans lesquels on établissait des filets d'eau courante.

On fit long-temps usage de chaque méthode en particulier, c'est-à-dire, des méthodes suédoise, allemande et française; mais la communication établie entre les ouvriers de ces trois nations produisit des perfectionnements de différentes espèces. Enfin, le Collége royal des Mines ayant remarqué l'avantage que procuraient à la Suède une surveillance plus exacte et de nouvelles améliorations dans l'art de travailler le fer, fit créer une *grande maîtrise des hauts fourneaux*. Le célèbre Swan Rinmann fut le premier qui obtint la charge de *grand maître*. C'est de cette époque que datent les grands perfectionnements introduits dans les forges de Suède, qui donnent au fer qui en provient, cette grande supériorité sur les autres fers d'Europe.

Les Suédois ne furent pas le seul peuple qui fit des progrès dans cette partie précieuse de l'industrie humaine; l'art eut encore en Russie ses degrés d'accroissements. Les monts *Uraliens*, qui séparent la Sibérie de la Russie, sont, disent Mentelle et Malte-Brun (1), remplis de minérais de fer; les uns, à l'état d'oxidule, constituent des mines d'aimant assez considérables; les autres, à l'état d'hématite, produisent de cinquante à soixante pour cent de fer. Il paraît, d'après les nombreux travaux qui ont été faits dans les montagnes par les Permiens ou Biarmiens, que le fer y est traité depuis long-temps; mais, à cette époque, on ne faisait usage que de petits fourneaux analogues à ceux d'Agricola, et les soufflets qui animent le combustible, étaient mus à bras d'homme. L'art était encore dans l'enfance, lorsque le fameux Akimsi-Demidoff vint, en 1701, établir les célèbres forges de Neviamskoï. Le czar Pierre Alexiowitz favorisa cette entreprise, en accordant à ce métallurgiste une étendue de terrain de sept milles suédois en carré : on lui accorda, en outre, de très-grands privilèges, tels que d'assurer un asile aux criminels qui pouvaient s'y

(1) Géographie mathématique, tome 12, page 269.

réfugier. Enfin, les établissements qu'il forma furent affranchis de tous droits, sous la seule condition de livrer au souverain trois mille *punds* de fer battu (1). On vit alors, dans ces déserts, le travail du fer prendre une face nouvelle : on y éleva des fourneaux de seize, vingt, vingt-quatre, vingt-huit et même de quarante-cinq pieds de haut : on les alimentait avec du charbon de bois; dans quelques-uns de ces fourneaux on a conservé l'usage des soufflets à main; dans d'autres, on a placé des soufflets en bois; enfin, on vient d'y introduire, tout récemment, des machines soufflantes à cylindre. Il y a peu de pays qui présentent plus de variations dans les quantités de combustibles que l'on consume pour obtenir du fer fondu; dans les uns, on brûle cent trente-deux parties de charbon pour en obtenir cent de fer; dans d'autres, trois cent soixante-dix; enfin, dans les usines de Newiamskoï, établies par M. Akimsi-Demidoff, la consommation du charbon varie entre cent quinze et cent cinquante-sept parties pondérables pour obtenir cent de fonte de fer.

Les changements introduits dans le travail du fer, l'élévation successive des hauts fourneaux dans lesquels on fond les minérais, ont souvent été motivés sur les difficultés qu'ils opposaient au traitement qu'on leur faisait éprouver. Ces nouveaux changements furent bientôt présentés dans chaque pays, comme s'ils devaient procurer une amélioration considérable; ils y furent adoptés et produisirent très-souvent des pertes.

On traite chaque minérai d'une manière différente relativement aux difficultés qu'offre le fer pour être séparé des substances auxquelles il se trouve allié. Dans les Pyrénées et en Corse, on retire un grand avantage des minérais que l'on traite dans des bas fourneaux, par la méthode à la Catalane; on brûle à peine quatre parties de charbon pour en obtenir une de bon fer. On essaya en vain de traiter, par le moyen de cette méthode, les oxides de fer en petits fragments détachés. *Dietrich, commissaire du Roi à la visite des mines des bouches à feu et des fontes*

(1) Traité du fer de Swedemborg, I[re] classe, §. 14.

du royaume de France, a fait, dans les Pyrénées, des expériences infructueuses (1). Dans quelques pays où ce procédé est pratiqué, comme dans le département du Lot, on brûle jusqu'à mille et même quatorze cents parties de charbon pour obtenir cent parties de fer forgé (2). Pour retirer du fer de ces sortes de minérais, il faut le fondre dans de hauts fourneaux, puis ensuite traiter la fonte dans de bas fourneaux. Par ce double travail, on dépense environ cinq à huit parties de charbon pour une de fer; mais cette dépense est inévitable à cause des difficultés que ce minéral offre pour être travaillé. Quiconque voudrait introduire, dans les Pyrénées, la méthode des hauts fourneaux, qui est généralement adoptée ailleurs, ferait rétrograder l'art au lieu de le perfectionner. Il y a donc des circonstances où la méthode des anciens (c'est-à-dire l'usage des bas fourneaux) doit être suivie de préférence à celles qui ont été nouvellement introduites; et d'autres où l'on doit faire usage successivement de hauts fourneaux, pour obtenir de la fonte, puis traiter cette fonte dans de bas fourneaux, pour avoir du fer ou de l'acier.

En traitant des minérais de fer dans des bas fourneaux, on obtient le plus souvent du fer doux plus ou moins pur; on obtient même de l'acier dans quelques usines. L'opinion qui paraît la plus généralement adoptée aujourd'hui, c'est que l'acier est plus difficile à fabriquer que le fer; et c'est en conséquence de cette opinion, que le Gouvernement français envoya, dans des forges très-renommées, des métallurgistes instruits, pour y étudier l'art de fabriquer l'acier de fusion. On nous envoya donc, Jars, Duhamel, Lefebvre, Stoutz et moi, en Styrie et en Carinthie, pour l'étudier et en rapporter le procédé en France. Cette opinion, étant fondée sur des faits exacts, devrait faire croire que le premier fer obtenu des minérais devait être doux, et que l'acier, que les anciens estimaient d'une manière particulière, n'a dû être connu que long-temps après la découverte du fer.

(1) Description des gîtes des minérais, etc. Ire partie, pages 79 et suiv.

(2) Journal des mines, tome 27, page 196.

Cependant tout paraîtrait faire croire que l'acier a été le premier fer qui soit parvenu à la connaissance des anciens, et que le fer doux, si connu aujourd'hui, ne provient que d'une sorte de perfectionnement introduit dans les procédés qui ont rapport à la fabrication du fer.

En effet, si, comme il est facile de le croire par les anciens procédés et par les changements successifs qu'ils ont éprouvés, les premiers minérais de fer ont été traités dans des bas fourneaux, par une méthode analogue à celle que l'on suit encore avec tant de succès : on doit rapporter à ce travail les produits que l'on a pu obtenir. Or, on verra, en lisant la méthode à la Catalane, que, de tous les fers, celui que l'on obtient le plus facilement (en employant ce même procédé), est celui qui est connu sous le nom d'*acier;* et que c'est par un travail plus long et plus difficile que l'on obtient du fer doux. Tout devant faire présumer que la méthode des anciens est celle qui présente le moins de travail, on est en quelque sorte porté à croire que le premier fer obtenu n'était autre chose que de l'acier. Ensuite, pour fondre des minérais plus réfractaires, on a été obligé de les traiter d'abord pour obtenir de la fonte, d'affiner ensuite cette fonte ponr en former du fer. Le travail de l'acier est devenu tellement compliqué, depuis l'instant où l'on s'est occupé des moyens d'obtenir de l'acier pur, qu'il serait très-difficile de le concevoir dans les descriptions les plus détaillées que les Anciens nous ont données.

Les minérais de fer éprouvent, avant d'être fondus, des préparations particulières; et, par les différents traitements qu'on leur fait éprouver, on en retire de la fonte, du fer et de l'acier.

L'art de traiter les minérais de fer, pour en obtenir de la fonte, du fer et de l'acier, est divisé en trois parties. Dans la première, on traite des caractères distinctifs du fer; dans la seconde, des substances desquelles on tire ce métal, ou des minérais de fer; dans la troisième, des travaux employés à l'extraction des fers des divers minérais qui les contiennent.

PREMIÈRE PARTIE.

DES CARACTÈRES DISTINCTIFS DU FER.

1. Les caractères du fer (c'est-à-dire, ceux qui conviennent à tous les fers) peuvent être distingués d'une manière générale ou particulière. C'est avec ces caractères qu'on peut reconnaître chaque espèce de fer en particulier; ce qui a donné lieu à diviser cette partie en cinq sections. Dans la première, on décrit ceux qui ont rapport à tous les fers en général; dans la seconde, ceux à l'aide desquels on distingue les différentes espèces de fers; dans la troisième, ceux des fers crus et de la fonte de fer; dans la quatrième, ceux des fers forgés; dans la cinquième, ceux de l'acier et de ses différentes variétés.

DU FER EN GÉNÉRAL.

2. Parmi les métaux que nous connaissons, il en est peu que la nature produise avec plus d'abondance que le fer. Il n'en est point dont la préparation soit plus difficile, et dont les usages soient plus généraux.

3. Le fer est le plus abondant de tous les métaux. Il existe dans toutes les substances des trois règnes de la nature; il se trouve à l'état d'oxide et d'oxidule en couches, en filons ou en masses plus ou moins épaisses. La plus grande partie des roches qui forment l'enveloppe connue du globe, les serpentines, les jaspes, les porphyres, les granits, les cornéennes, etc., contiennent du fer dans ces deux états. C'est ce métal qui colore la plupart de nos pierres fines : la télésie, le béril, la topaze, le girasol, le cornidon, etc. etc.

On le trouve dans toutes les terres végétales, et en particulier dans les terres bolaires. Cette profusion du fer, cette abondante répartition dans les substances minérales, ont fait dire, avec raison, à l'un de nos

plus célèbres minéralogistes (1), *que quand la nature prend le pinceau, c'est très-souvent le fer oxidé qui est sur la palette.*

On trouve le fer dans les cendres de tous les végétaux. Il paraît que c'est par sa combinaison et par les diverses modifications qu'il éprouve dans les fibres végétales, que sont produites les variétés de couleurs qui ornent toutes les parties des plantes. On croit même que c'est à de petites répartitions de son oxide que l'on doit attribuer les nuances des teintes brillantes qui embellissent les pétales des fleurs.

Plusieurs substances animales contiennent du fer : on en trouve assez ordinairement dans les cendres provenant de leur combustion. Un grand nombre de physiciens lui attribuent même la cause de la couleur rouge du sang et des teintes variées qui naissent des différentes situations dans lesquelles l'ame se trouve; mais cette attribution, ainsi que la coloration des pétales des fleurs, n'ont point encore acquis de preuves suffisantes (2).

4. De tous les métaux, le fer est celui dont la préparation est la plus difficile. La raison en est que presque tous les métaux dont on fait usage (si l'on en excepte le platine), ne présentent d'autre difficulté, pour être obtenus, que celle qu'occasionnent leurs combinaisons avec diverses substances; mais aussi-tôt qu'ils en sont séparés, soit à l'état d'oxide, soit à l'état de régule, une simple fusion, en contact avec du charbon, laquelle exige une température plus ou moins élevée, suffit pour les rendre propres à être versés dans le commerce, et à être employés aux divers usages auxquels on les destine.

Le minéral de fer, même à l'état d'oxidule pur, ne peut être décomposé et affiné pour en former du fer ductile, qu'après lui avoir fait subir une suite de manipulations qui en rendent la préparation très-difficile, et qui exige une étude suivie et longue du travail et de l'art.

5. Le fer est de tous les métaux celui dont on fait le plus d'usage,

---

(1) Haüy.

(2) Berthollet, art de la teinture, page 54. Cet ouvrage est du fonds de Firmin Didot.

parce que ses propriétés physiques et la modicité de son prix le rendent d'une utilité générale et souvent absolue. Si dans quelques circonstances on peut le remplacer par d'autres métaux, il en est où cette substitution est impossible; par exemple, lorsqu'il est employé comme instrument tranchant. Cette propriété seule le rend tellement précieux et nécessaire aux besoins des hommes, que dans tous les pays il suffit que l'on s'en soit servi une seule fois pour qu'on l'échange contre des substances d'une grande valeur et d'un très-haut prix. Les Sauvages, auxquels on fait connaître les propriétés du fer, s'exposent à toutes sortes de dangers pour en obtenir.

Chez les nations policées où l'art de le préparer est connu, c'est avec du fer que l'on fabrique les instruments les plus nécessaires dans les arts. Le soc de la charrue, le burin du graveur, la lancette du chirurgien, le ciseau du sculpteur, l'éguille de la lingère, et l'alêne du cordonnier, sont en fer. C'est encore avec ce métal qu'on assure, jusqu'à un certain degré, la solidité des édifices.

Le fer oxidé et combiné avec différentes substances, présente encore un nouvel intérêt. Il entre dans la composition de la plupart des couleurs qui fixent sur la toile les traits des grands hommes. On lui doit cette couleur noire par laquelle le souvenir des vertus des héros qui consacrent leurs jours au bonheur des peuples, tracé d'une manière durable sur le papier, est transmis d'âge en âge et passe à la postérité la plus reculée.

Ce métal, par lui-même et par le travail qu'il exige, peut être versé dans le commerce à une très-petite valeur; mais son prix varie : il augmente en raison du travail qu'exigent les objets à la fabrication desquels on le fait servir.

Dans un discours, lu à l'Académie des sciences de Stockholm, M. Ekstrom a fait voir qu'il surpasse en valeur tous les autres métaux. Réduit en fil, il peut centupler le prix du fer brut. Employé dans le mécanisme d'une montre, il augmente de plus de soixante-dix mille fois sa valeur; et enfin, lorsqu'il entre dans la composition des chefs-d'œuvres des arts, il devient inappréciable.

6. Le fer est peut-être le seul métal dont les principales propriétés, telles que la dureté, la ténacité, la ductilité et l'élasticité, soient si variables, qu'il est extrêmement difficile, pour ne pas dire impossible, d'obtenir deux échantillons de fer semblables. Cette variation, qui dépend et de la nature des minérais d'où on le tire, et des procédés qu'ils subissent, ouvre un vaste champ à l'industrie, et permet aux artistes de développer toute la sagacité dont ils peuvent être capables. Elle permet encore de dire, avec Bergman (1), que le fer est un polymorphe, un Protée qui se présente sous tant de formes, que, seul, il tient lieu de tous les métaux.

Le développement des propriétés générales du fer, peut être divisé en deux chapitres; des propriétés physiques et des propriétés chimiques.

DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU FER.

7. Le fer peut être considéré, relativement à ses propriétés physiques, sous onze rapports différents, 1° sa couleur; 2° sa cassure; 3° sa densité; 4° sa dureté; 5° son odeur; 6° sa saveur; 7° sa malléabilité; 8° son écrouissement; 9° sa caloricité; 10° sa conductricité électrique; 11° son magnétisme.

Nous allons examiner succinctement ces diverses propriétés comme appartenant à tous les fers en général. Nous examinerons ensuite les diverses modifications que ces propriétés éprouvent dans chaque espèce de fer, lorsque nous ferons connaître chacune de ses variétés.

8. Le fer a une couleur particulière; on la distingue sous le nom de *gris de fer;* mais cette couleur peut varier du blanc au noir, relativement aux divers états sous lesquels ce métal peut être obtenu.

9. Sa cassure présente des grains, des lames ou des fibres qui ont aussi leur couleur particulière.

10. La densité du fer est entre 6300 et 8000, celle de l'eau étant 1000.

---

(1) Analyse du fer, page 7.

11. Sa dureté est très-variable. Il y a des fers assez durs pour rayer le verre, d'autres qui plient et s'émoussent sur le cuivre; cette dureté peut varier dans le même fer. Il y en a même qui deviennent plus ou moins durs, selon qu'on les fait refroidir plus ou moins rapidement.

12. Lorsque l'on a touché du fer, la main conserve une odeur particulière que l'on ne peut attribuer qu'à ce métal. Le fer même, lorsque sa surface est limée et qu'il vient d'être frotté, répand une odeur qui lui est propre.

13. Sa saveur est plus prononcée; elle est âcre, astringente : on la distingue particulièrement dans les eaux qui tiennent du fer en dissolution. Grignon prétend qu'il se servait de la saveur du fer pour avoir une première opinion de sa qualité (1).

14. Quelques fers sont malléables, s'étendent sous le marteau, soit à chaud, soit à froid, et produisent des lames extrêmement minces.

15. Les fers sont, comme tous les autres métaux, d'excellents conducteurs du calorique; ils s'échauffent en très-peu de temps, et ils augmentent de volume en s'échauffant. Cette augmentation, en passant de la glace fondante à l'eau bouillante, est de 15 à 25 millièmes de sa longueur totale. Le fer augmente moins de volume que le cuivre, l'étain, le plomb, et beaucoup plus que le verre. On se sert de la loi de refroidissement du fer, de sa propagation de la chaleur, et du rapport de son augmentation de longueur avec celles des autres métaux, pour mesurer de hautes températures, et pour avoir des longueurs et des mètres invariables par la chaleur (2).

16. Le fer en s'échauffant s'amollit et se fond. La température de la

(1) Analyse du fer, page 110.

(2) Newton ayant observé que la loi de refroidissement des métaux suivait une progression arithmétique pour des temps en progression géométrique, nous avons fait usage de cette loi pour mesurer la température des milieux. Soit x la température du milieu, dans lequel on expose le fer. Soit t la durée du refroidissement pour amener le fer à la température a du plomb ou de l'étain fondant. Soit θ la durée de refroidissement du fer pour passer de la température a à la température d de la cire fondante

fusion varie avec son état de pureté; elle est entre 120 et 150 degrés du pyromètre de Wedgwood. Très-pur, il est beaucoup moins fusible que celui qui est déja combiné avec du carbone ou de l'oxigène. Quelques physiciens, d'après des expériences qui leur sont particulières, ont cru devoir considérer le fer pur comme un métal infusible; ils rapportent la fusibilité qu'il acquiert, en l'exposant à l'action du feu, soit à l'oxigène, soit au carbone qui le pénètre pendant qu'il s'échauffe; mais nous nous sommes assurés, en exposant des fragments de fer pur dans un petit creuset vide que nous bouchions hermétiquement, et que nous renfermions ensuite dans un creuset brasqué, que le fer seul, exposé à

---

ou de tout autre substance dont on a déterminé par avance cette température; on a

$$x = a \cdot \overline{\left(\frac{a}{d}\right)^{\theta}}^{\,t}.$$

M. Biot indique, dans un mémoire lu à l'Institut et publié ensuite, tome 2 de la Bibliothèque Britannique, page 310, un moyen de mesurer la température d'un milieu par le moyen d'une barre de fer dont une des extrémités est placée dans ce milieu. Il suit, des expériences de ce membre de l'Institut, que les variations de chaleur dans les barres peuvent être très-exactement représentées par une logarithmique dont les températures formeraient les ordonnées, et les distances au foyer les abscisses.

Ayant déterminé cette loi, on peut, à l'aide de quelques observations de température, comparées aux distances au foyer, trouver quelle est la température de ce même foyer.

Le cuivre ayant la propriété d'augmenter de volume dans un rapport plus considérable que le fer, les horlogers se servent de ce rapport d'augmentation pour construire des pendules dans lesquels la distance du centre de gravité au point de suspension soit constante, quelle que soit la température à laquelle les pendules sont exposés. Le moyen le plus généralement employé consiste à construire le support de la lentille avec une suite de verges de fer et de cuivre tellement disposées, que les verges de cuivre, qui supportent la lentille du pendule, se rapprochent du point de suspension de la tige, en s'alongeant, pendant que les verges de fer écartent de ce même point de suspension la tringle horizontale sur laquelle porte le pied des tringles de cuivre. Lorsque les longueurs des verges de cuivre et de fer sont dans un rapport exact avec leur degré d'alongement, il se produit une telle compensation dans les alongements en sens contraire, que la distance du centre de gravité du pendule au point de suspension est constante, et que la durée des oscillations qui dépendent de cette longueur, l'est également. *Voyez* A et B, planche Ire.

une température de 150 degrés environ du pyromètre de Wedgwood, se fondait parfaitement. Le culot que nous avons obtenu était malléable au point de s'étendre en feuilles très-minces, en le frappant avec un marteau.

Le fer en s'échauffant s'alonge, rougit, devient pâteux et mou, ensuite il se liquéfie. Il se comporte, en s'échauffant, à-peu-près comme de la cire.

Le fer fondu, coulé, lance des étincelles vives et brillantes. Cette propriété du fer le fait employer avec succès dans la composition des feux d'artifice.

17. Après avoir amené le fer, par l'action de la chaleur, à une fluidité parfaite, on peut, avec une température plus haute, le vaporiser et en former un gaz particulier. On est parvenu à ce résultat par le moyen des grandes lentilles de Tschirnhausen et de Bernières. Tous les jours, dans les cabinets de physique, on vaporise des fils de fer très-minces avec une forte batterie électrique. Le fer que l'on emploie dans ces expériences, produit un petit nuage rougeâtre que l'on voit peu-à-peu se dissiper et se dissoudre dans l'air (1).

18. Le fer malléable a, comme tous les métaux, la propriété de se comprimer par le choc du marteau, et de s'échauffer par cette compression. Deluc prétend même qu'on peut l'échauffer au point de le faire rougir. L'inspecteur général des ponts et chaussées, Prony, a annoncé à l'Institut, qu'en faisant rompre des fils de fer par une forte traction, on pouvait distinguer le point où la rupture allait avoir lieu, par une forte élévation de température qui existait dans cet endroit. Il semblait (pour nous servir de l'expression de ce savant) que le point de rupture *suait la chaleur.*

---

(1) On rapporte, dans le 3ᵉ volume des Annales des Arts et Manufactures, page 216, une expérience de M. Muchet, dans laquelle ce savant métallurgiste dit avoir observé, sur la surface d'un culot de fer fondu dans un creuset, que *le métal avait pris une couleur de vert bleuâtre*, et que, *de sa surface, il s'était échappé un gaz d'un ton azuré, qui avait conservé sa forme et sa couleur, distincte de celle de la flamme provenant de la combustion générale.*

Quand on frappe un morceau de fer très-dur contre un quartz ou un silex, ou même deux fers très-durs l'un contre l'autre, on voit jaillir des étincelles qui ont assez de force pour enflammer des corps très-combustibles, tels que de la poudre, de l'amadoue, etc.

19. La capacité du fer, pour le calorique, est, d'après Crawfort, de 107. Celle de l'eau étant de 1000.

20. Comme tous les autres métaux, le fer est un excellent conducteur électrique : on peut l'employer dans la construction des piles galvaniques, mais avec moins d'avantage que le cuivre et le zinc dont on se sert habituellement.

21. La vertu magnétique est une des propriétés physiques la plus caractérisée du fer. On a cru long-temps qu'il possédait seul cette propriété; mais on a reconnu depuis que le nickel et le cobalt jouissaient de cette même vertu.

Le fer est susceptible de divers degrés de magnétisation, selon la pureté à laquelle il a été amené. Tous les fers, s'ils sont à l'état métallique, sont susceptibles d'être attirés par l'aimant. L'action du magnétisme sur les corps est un des moyens le plus généralement employés pour reconnaître l'existence du fer. Il est même des circonstances où l'on ne peut le déterminer que par le moyen du barreau aimanté. C'est ainsi que Coulomb est parvenu à reconnaître l'existence du fer dans une lame d'argent, dans laquelle ce métal ne pouvait être indiqué par aucun agent chimique. Il est même parvenu à déterminer la proportion de fer qu'elle contenait, qui était de $\frac{1}{120}$, dans un morceau que lui avait donné Guyton, et de $\frac{1}{133400}$, dans un morceau d'argent purifié par un muriate.

A une même distance de deux fers différents, un aimant exerce une influence variable. Elle est considérable sur les uns, tandis que sur les autres son action est très-faible. Lorsque les fers influencés ont été retirés de la sphère d'activité de l'aimant, les uns conservent la propriété qu'ils ont acquise, tandis que les autres la perdent entièrement.

DES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DU FER.

Nous diviserons en quatre articles les propriétés chimiques du fer; 1° son action sur les combustibles; 2° sur les métaux; 3° sur l'oxigène; 4° celles des acides sur son oxide.

De l'action du fer sur les combustibles.

22. Le fer se combine facilement avec le carbone, le soufre et le phosphore. Avec le carbone il produit la combinaison connue vulgairement sous le nom de *plombagine*, ou crayon noir (carbure de fer, *fer carburé*, du Traité de minéralogie de M. Haüy, *Graphite* W). Cette substance se trouve toute formée par la nature. On l'exploite en Angleterre, en Écosse, en Espagne, en Bavière, etc. (1); on l'emploie pour faire des crayons. Dans quelques endroits, on la mêle avec de l'argile pour en faire des creusets.

23. Cette matière douce, onctueuse au toucher, réunit une couleur, qui est le gris d'acier foncé, avec le brillant métallique. Sa texture, plus ordinairement granulaire, est quelquefois lamelliforme, et très-rarement feuilletée, cristallisée régulièrement en prisme hexaèdre, avec des angles interceptés par des facettes peu inclinées à l'axe. Sa pesanteur spécifique est de 2245 à 2267, et sa composition, d'après la belle analyse de Vandermonde, Monge et Berthollet, est de neuf parties de charbon et une de fer (2). Proust a élevé quelques doutes sur cette composition de la plombagine; il desirerait qu'on l'analysât de nouveau (3).

24. On combine le charbon avec le fer, soit en exposant un mélange de ces deux substances, dans un creuset, à une température assez grande pour fondre le fer, soit en environnant de charbon, le fer, dans

(1) Brochant, 2e volume, page 78.

(2) Mémoires de l'Académie, année 1786, page 191.

(3) Journal de physique, année 1806, tome 2, page 463.

un creuset fermé hermétiquement, et l'exposant ainsi à une chaleur de 80 à 90 degrés du pyromètre de Wedgwood, pendant plusieurs jours. Le carbone pénètre peu-à-peu dans l'intérieur du fer, et se combine avec lui. Dans ces deux cas, il est rare que la combinaison du carbone avec la totalité du fer dans ce carbure artificiel, soit égale à celle que l'on trouve dans le graphite. Plusieurs savants, et parmi eux le chimiste Proust (1), sont persuadés que, dans ces deux opérations, il se trouve du carbure de fer semblable au graphite, qui se dissout ensuite, ou se mélange intimement avec le fer, ce qui fait que le carbure artificiel contient moins de carbone que le graphite. On peut même souvent distinguer, dans la cassure du fer, les écailles du graphite séparées des particules du métal.

25. En soumettant à l'action des acides le fer dans lequel on a combiné du carbone par la fusion ou la cémentation, on observe que le fer seul se dissout, et que le graphite se sépare; il reste indécomposé. On parvient encore à séparer le graphite du fer qui en contient, en faisant fondre le fer. Lorsque ce métal contient beaucoup de graphite, on voit le carbure de fer se séparer par un refroidissement lent, se porter à la surface de la fonte, et la tapisser d'une légère couche noire écailleuse, qui s'attache aux doigts et y laisse un gris très-foncé. Souvent il se fait un dépôt de graphite dans l'intérieur des hauts fourneaux : Monge en a trouvé dans un vieux fourneau que l'on démolissait à quelque distance du Creusot, près de Mont-Cenis, département de Saône-et-Loire.

De toutes les combinaisons des différentes matières avec le fer, le graphite étant une de celles qui a le plus d'influence sur ses divers états, c'est aussi celle qu'il importe le plus de bien connaître.

26. Si l'on mêle deux parties de soufre avec une de fer, et que l'on jette ce mélange dans un creuset chauffé au rouge, on obtient une fonte de sulfure de fer du poids de 160 parties par 100 de fer.

Quel que soit le temps pendant lequel cette combinaison est exposée

(1) Journal de physique, année 1806, 2e volume, page 464.

à l'action d'un feu violent, dans un vaisseau clos, elle se conserve sans altération ; mais si ce sulfure est chauffé avec le contact de l'air, il se forme de l'acide sulfureux qui se volatilise; tout le soufre se dégage sous cette nouvelle combinaison, et l'on obtient pour résultat, de l'oxidule de fer.

27. Les sulfures de fer se trouvent tous formés dans la nature; ils sont connus sous le nom de pyrites, ou fer sulfuré; et, d'après les analyses de l'ingénieur Gueniveau, ils sont composés de 0,55 de soufre, et 0,45 de fer (1).

Ces pyrites, exposées à l'action du feu dans des vaisseaux clos, vaporisent une partie de leur soufre, et cette partie varie : d'après les expériences de Proust (2), le fer peut retenir 60 ou 90 degrés de soufre sur 100 de métal, suivant la température à laquelle il est exposé.

Il paraît aussi, d'après ce savant, qu'il n'existe que deux sulfures de fer, l'un au minimum, contenant 0,625 de fer, et 0,375 de soufre, l'autre au maximum dans la pyrite naturelle qui contient 0,450 de fer et 0,550 de soufre. On croit que la variation dans la proportion de soufre et de fer, trouvée dans quelques pyrites artificielles, provient du mélange ou de la combinaison de ces deux sulfures.

28. On peut combiner le fer et le soufre en les mêlant simplement, et en imbibant ce mélange avec un peu d'eau. Ces trois substances pétries réagissent l'une sur l'autre; une d'elles se décompose, le mélange s'échauffe, quelquefois même il s'enflamme, et l'on obtient du sulfate de fer, du sulfure de fer, et le plus souvent un mélange des deux combinaisons.

29. On a mêlé, au laboratoire de l'école de Moustiers, 5 grammes de limaille de fer et 5 de pyrite pulvérisée. Ce mélange, placé dans un creuset brasqué et fermé hermétiquement, fut exposé dans la forge d'essai; on éleva la température au degré nécessaire pour fondre le fer;

(1) Journal des mines, pages 105 et suivantes, n° 122.

(2) Journal de physique, année 1802, 1er volume, page 89.

on obtint un culot pesant 9 gr. 33, contenant par conséquent 7 gr. 25 de fer et 2 gr. 08 de soufre; sa cassure était grenue, lamelleuse, de couleur gris-jaunâtre, approchant de celle de la pyrite : le culot était extrêmement cassant, très-oxidable à l'air; il était fortement attirable à l'aimant; sa combinaison paraissait homogène, et sa densité était de 5,595.

30. Le fer est de tous les métaux celui qui a le plus d'affinité pour le soufre. D'après la table des affinités électives de Bergman (1), le fer enlève le soufre qui se trouve combiné au cuivre, à l'étain, au plomb, à l'argent, au cobalt, au nickel, au bismuth, à l'antimoine, au mercure, et à l'arsenic.

31. Le phosphore se combine facilement avec le fer. Pelletier a obtenu du phosphure de fer de trois manières différentes : en fondant des parties égales de copeaux de fer et d'acide phosphorique, en fondant de la limaille et du verre phosphorique, enfin, en projetant du phosphore sur de la limaille de fer rougie dans un creuset. Il a encore eu du fer phosphoré en ajoutant de l'urine humaine à une dissolution de sulfate de fer, recueillant le précipité qui se forme, le mêlant avec un peu de charbon, et le fondant avec du borax (2).

Le phosphure de fer ayant été exposé dans une coupelle, sous une moufle, le phosphore s'est brûlé à la surface, et il est resté sur la coupelle une substance fragile qui était de l'oxide de fer.

32. On a versé, à l'école de Moustiers, une dissolution de phosphate de soude dans une dissolution de sulfate de fer; le précipité a été recueilli et séché, on a mêlé cinq grammes de ce précipité avec cinq grammes de limaille de fer; ce mélange imbibé d'huile a été placé dans un creuset brasqué, fermé hermétiquement, on l'a exposé ensuite, dans la forge d'essais, à un feu assez fort pour fondre le fer, et on a obtenu un culot pesant 7 gr. 35; sa cassure était inégale, anguleuse, passant à

(1) Journal de physique, 10e volume, page 298.

(2) Journal de physique, 34e volume, pages 193 et suivantes.

la cassure lamelleuse; sa couleur était d'un blanc-rose dans quelques endroits; la combinaison paraissait homogène, et la matiere avait subi une fusion complette; le culot était cassant, la lime n'y mordait pas; l'acide nitrique n'y laissait pas de taches sensibles; sa pesanteur spécifique était de 7,083.

33. Il y a du phosphate tout formé dans un grand nombre de minérais de fer, c'est ce principe qui contribue à donner à quelques fers le défaut d'être cassant à froid.

34. Le fer occupe le troisième rang dans ses affinités avec l'acide phosphorique; car le manganèse et le zinc le lui enlèvent.

De l'action des métaux sur le fer.

35. Fourcroy rapporte, dans son système des connaissances chimiques (1), les résultats des expériences faites par Bergman, Cronstedt, Gellert, Hunkel, Junger, Mussembroeck, Walerius, Weigel, etc., sur les combinaisons du fer avec différents métaux. Elles ont toutes été répétées à l'école impériale des mines de Moustiers. Nous allons faire connaître les résultats qu'on a obtenus. Toutes ces expériences ont été faites dans un creuset brasqué et exposé, dans un fourneau d'essai, à un feu assez fort pour fondre le fer : comme dans l'expérience de la fusion du fer, de la pyrite et du phosphure de fer, tous les mélanges ont été imbibés d'huile.

36. Huit grammes de limaille de fer, et deux grammes de fer arsenical naturel, ont donné un culot pesant 9 gr. 95. Il était accompagné de scories bleues; sa cassure était lameleuse, la couleur de la fonte très-blanche, et la fusion parfaite; le culot était dur, cassant, la lime y mordait avec difficulté; l'acide nitrique n'y laissait pas de taches; il était très-attirable; sa densité était de 7,500.

40. Huit grammes de limaille de fer, et deux grammes de chromate de fer naturel ne se sont pas fondus : on y a ajouté du borax, et l'on a obtenu un culot dont on a oublié de déterminer le poids.

(1) Système des Connaissances chimiques, volume 6, pages 173 et suivantes.

Sa cassure était grenue; la couleur de la fonte était blanche; la fusion était complette et le culot bien formé; dur, difficile à casser, et renfermant, dans l'intérieur, des cavités parfaitement sphériques; on ne pouvait pas le limer; l'acide nitrique ne l'attaquait pas; il était attirable; sa densité était 7,000.

38. Neuf grammes de limaille de fer, un gramme de titane oxidé, (*Rutil* W, *schorl rouge* de l'ancienne minéralogie), deux de borax, ont donné un culot pesant 8 gr. 55, et un volume de scories pesant 1 gr. 85. La cassure du culot était grenue, elle renfermait de petits grains sphériques noirs; sa couleur était blanche; le culot était dur, difficile à casser, la lime ne pouvait pas l'entamer; la combinaison paraissait homogène, très-attirable, peu altérable par l'eau; l'acide nitrique n'y laissait aucune trace; sa pesanteur spécifique était 7,614.

39. Neuf grammes de limaille de fer, un gramme d'oxide noir de manganèse, et cinq grammes de borax, ont donné un culot bien formé pesant 9 gr. 40; sa cassure était grenue et d'un blanc de fonte; le culot était dur, cassant, très-attirable; on le limait facilement; il était peu altérable par l'acide nitrique; sa densité était de 6,578.

40. Neuf grammes de limaille de fer, un gramme d'antimoine métallique, et deux gros de borax ont donné un culot pesant 9 gr. 85. Sa cassure était lameleuse, sa couleur d'un blanc-grisâtre, la combinaison intime; il était dur à la lime, très-attirable, altérable à l'air; sa densité était de 6,870.

41. Neuf grammes de limaille de fer, et un gramme de bismuth métallique, ont produit un culot pesant 9 gr. 34; sa cassure était grenue, sa couleur grise, sa surface extérieure couverte de globules métalliques, qui paraissaient avoir suinté à travers la masse; la combinaison était intime; il était dur, cassant, la lime n'y mordait pas; l'acide nitrique laissait une tache noire; il était attirable à l'aimant; sa densité était de 6,777.

42. Neuf grammes de limaille de fer, et un gramme de minéral connu sous le nom de *kupfer nickel*, le mieux séparé qu'il a été possible d'un échantillon de cobalt gris, a produit un culot pesant 10 gr. 9.

Sa cassure était blanche, lamelleuse; on remarquait, dans le voisinage de la surface, des points gris qui donnaient une apparence truitée; ces points ne se faisaient point remarquer au centre, plus lamelleux que le reste; le culot était très-compact, dur, cassant, et très-attirable; la lime n'y mordait pas; l'acide nitrique y laissait une tache grise; sa densité était de 7,133.

43. Neuf grammes de limaille de fer, un gramme de scheelin ferruginé (*Volfram* W) et deux de borax, n'ont pas fondu complètement. Le centre seul était compact, et renfermait des grains vitreux; l'extérieur était poreux, et conservait encore la texture de la limaille de fer. Cette masse, séparée des scories, pesait 10 gr. 63. Les scories non vitreuses renfermaient aussi des scories métalliques. La cassure de la masse était blanche, grenue dans quelques endroits, et poreuse dans d'autres; ses fragments étaient attirables; on n'a pas pu prendre sa densité.

44. Neuf grammes de limaille de fer, et un gramme d'oxide gris de cobalt, connu sous le nom de *safre*, ont produit un culot métallique pesant 9 gr. 32, et des scories pesant 0 gr. 55.

Sa cassure était grise, truitée, grenue; le culot paraissait très-homogène, il s'applatissait sous le marteau avant de se casser; il était doux à la lime, attirable à l'aimant; sa densité était de 6,436.

45. Neuf grammes de limaille de fer, un gramme de cuivre en copeaux, se sont bien fondus, et ont donné un culot métallique pesant 10 gr. 35. Cette fusion a été répétée deux fois; on a constamment obtenu le même poids.

La cassure était lamelleuse, blanche, tirant un peu sur le rouge; sa combinaison ne paraissait pas homogène; l'extérieur était recouvert d'une couche de cuivre que l'on pouvait distinguer par sa couleur, l'intérieur était parsemé de petits points rouges de cuivre.

Le culot était difficile à casser, il s'applatissait sous le marteau, la lime mordait un peu; il était attirable à l'aimant; l'acide nitrique y laissait une tache noire et rouge dans quelques places; sa densité était de 7,083.

46. Neuf grammes de clous d'épingle, un gramme d'étain, se sont fondus et ont produit un culot pesant 10 gr. 16.

Sa cassure était grise, grenue, mais d'un grain très-fin; la combinaison était parfaite; il était très-difficile à casser, il ne s'applatissait pas sous le marteau; l'aimant l'attirait; la lime ne pouvait pas y mordre; sa densité était de 7,530.

47. Huit grammes de clous d'épingle, et 2 grammes de plomb, ont produit un culot de 8 gr. 10; il était recouvert de plomb métallique.

Sa cassure était grenue, poreuse, elle avait de grandes cavités; sa couleur était gris de plomb; il semblait que le peu de plomb qui était resté dans le fer tapissât l'intérieur des cavités, dans lesquelles on pouvait remarquer une grande quantité d'angles saillants en forme d'octaëdres implantés. Le culot était très-aigre : on pouvait facilement le casser, la lime n'y mordait pas, l'aimant l'attirait; l'acide nitrique n'y laissait pas de taches. On n'a pas pu prendre sa densité à cause de ses pores et de ses cavités.

Il ne se forme pas de combinaison lorsque l'on traite, en grand, des minérais de fer mélangé avec du plomb.

48. Neuf grammes de limaille de fer et un de zinc se sont bien fondus, et ont produit un culot métallique pesant 9 gr. 56. Sa cassure était blanche, lamelleuse, et homogène.

Le culot était dur; la lime n'y mordait pas facilement, il se cassait bien, l'aimant l'attirait, l'acide nitrique n'y laissait aucune tache; sa densité était de 6,860.

49. D'après Thomson (1), le fer peut se combiner avec le zinc, le plomb, l'étain, le nickel, le cuivre, le palladium, le mercure, l'argent, l'or, le bismuth, l'antimoine, l'arsenic, le cobalt, le manganèse, le molybdène, le tungstène, le titane.

Il augmente de volume en se combinant avec l'étain, le nickel, l'argent et l'or.

(1) Système de Chimie de M. Th. Thomson, tome premier, page 512.

Il acquiert de la fragilité en se combinant avec le plomb, le palladium, le mercure, le bismuth, l'antimoine, l'arsenic, le cobalt, le molybdène, le tungstène.

Enfin, il est sous-malléable dans ses combinaisons avec le zinc, le cuivre, le manganèse et le titane.

Si l'on compare ces propriétés avec celles que Fourcroy et plusieurs autres chimistes indiquent; si même on les compare avec celles que nous avons déduites de nos expériences, on y remarquera quelques différences qui peuvent tenir à la manière dont les expériences ont été faites.

Une remarque importante, c'est que le plus ou moins de malléabilité indiquée ici, résulte des épreuves faites à froid sur ces combinaisons; mais lorsqu'on les forge à chaud, elles se comportent souvent d'une manière très-différente, ainsi que l'on pourra l'observer lorsque nous rapporterons les expériences que nous avons faites sur la malléabilité à chaud de ces combinaisons.

De l'affinité des différents métaux pour le fer, déduite des expériences de Bergman (1).

50. Dans son affinité avec l'arsenic, le fer occupe le quatrième rang parmi les métaux; le nickel, le cobalt, le cuivre, le lui enlèvent; mais il en dépouille à son tour l'argent, l'étain, le plomb, l'or, le platine, le zinc, et l'antimoine.

Bergman n'a pas fait connaître les lois d'affinité du chrome, ni du titane avec le fer.

Avec le manganèse, le fer occupe le deuxième rang; le cuivre le lui enlève; mais il l'enlève à son tour à l'or, à l'argent, à l'étain.

Avec l'antimoine, le fer occupe le premier rang; il l'enlève à tous les métaux, et même au soufre.

Il n'occupe avec le bismuth que le dixième rang; le plomb, l'argent,

(1) Journal de physique, année 1778, 3e volume, page 298.

l'or, le mercure, l'antimoine, l'étain, le cuivre, le platine, et le nickel, le lui enlèvent; le zinc seul le lui cède.

Avec le nickel, il occupe le premier rang; il l'enlève à tous les métaux.

Bergman n'a pas fait connaître l'ordre d'affinité du fer avec le scheelin (*tungstène*, des anciens minéralogistes).

Avec le cobalt, le fer occupe le premier rang; il l'enlève à tous les métaux.

Avec le cuivre, il n'occupe que le quatrième rang; l'or, l'argent, l'arsenic, le *scheelin*, ou tungstène, le lui enlèvent.

Avec l'étain, il occupe le huitième rang; le zinc, le mercure, le cuivre, l'antimoine, l'or, l'argent, le plomb, le lui enlèvent.

Avec le plomb, il n'occupe que le dernier rang; l'or, l'argent, le cuivre, le mercure, le bismuth, l'étain, l'antimoine, le platine, l'arsenic, le zinc, et le nickel, le lui enlèvent.

Malgré cette loi d'affinité pour le plomb, indiquée par Bergman, on peut mettre en question si ces deux métaux se combinent.

Bergman n'a pas donné la loi d'affinité du fer avec le zinc, quoique la fusion de ces deux métaux semble prouver qu'ils ont de l'affinité l'un pour l'autre.

.51 La loi d'affinité du fer pour les métaux, par la voie sèche, déterminée par Bergman (1), est dans l'ordre suivant : le nickel, le cobalt, l'arsenic, le cuivre, le manganèse, l'or, l'argent, l'étain, l'antimoine, le platine, le bismuth, le plomb, et le mercure.

De l'action du fer sur l'oxigène.

52. Un morceau de fer chauffé dans l'air atmosphérique, se calcine, s'oxide à la surface; l'épaisseur de la couche d'oxide est d'autant plus forte que le fer rouge reste plus long-temps exposé à l'action de l'air. L'oxidation du fer rouge, en contact avec l'air, s'observe principalement sur

---

(1) Journal de physique, tome 13, page 298.

les masses et sur les barres que l'on forge; les écailles qui tombent à chaque instant, connues sous le nom de battiture, sont du fer oxidé. On considère encore comme du fer oxidé, les écailles de fer qui tombent à côté du laminoir, lorsque l'on passe, entre les cylindres, du fer qui a été chauffé dans un fourneau de réverbère, soit avec du bois, soit avec de la houille.

Les divers oxides de fer que l'on obtient dans les différentes opérations auxquelles ce métal est soumis, sont, en général, des combinaisons de fer et d'oxigène. Quelquefois il s'y combine de l'acide carbonique qui change, en quelque sorte, la nature du composé.

53. Peu de savants sont d'accord sur les proportions d'oxigène combiné dans les différents oxides. Les uns pensent qu'il n'existe que deux sortes d'oxides, l'un au maximum, et l'autre au minimum; d'autres, qu'il existe un oxide intermédiaire; d'autres enfin, que le fer peut être combiné avec l'oxigène, dans une foule de proportions différentes, existant entre deux extrêmes, l'une, l'oxide au minimum, l'autre, l'oxide au maximum.

Embarrassés sur le parti que nous avions à prendre, dans la diversité d'opinions sur la composition des oxides de fer, nous avons cru devoir recueillir les résultats de toutes les expériences qui méritent quelque confiance, et qui ont été faites par des savants distingués. Nous avons discuté (1), à l'aide de ces expériences, les diverses opinions émises par les chimistes et les métallurgistes. A ces expériences, nous en avons ajouté de nouvelles, afin de détruire l'incertitude que présentaient quelques résultats contradictoires, et de jeter un nouveau jour sur cette question.

54. On peut employer sept méthodes différentes pour obtenir de l'oxide de fer : 1° en exposant du fer à l'action de la chaleur et de l'air atmosphérique, ou du gaz oxigène; 2° en fondant du fer avec des oxides métalliques; 3° en faisant décomposer de l'eau sur du fer chauffé et rougi; 4° en faisant décomposer de l'eau, sur le fer, par l'action des

(1) Annales de Chimie, tome 69, pages 113 et suivantes.

acides; 5° en faisant décomposer les acides eux-mêmes sur le fer; 6° En faisant décomposer des sels neutres par le fer.

La quantité d'oxigène combiné avec le fer se détermine, 1° par l'augmentation de poids du fer, après s'être combiné avec l'oxigène; 2° par la quantité de gaz hydrogène dégagé dans la décomposition de l'eau par le fer; 3° par la diminution des poids des oxides de fer pur, soit en les réduisant par la chaleur seule, soit en facilitant leur réduction par l'action du carbone et de l'hydrogène; 4° en précipitant de leurs dissolutions, par le fer, des oxides métalliques dont les proportions d'oxigène sont connues.

55. De la discussion de toutes les expériences qui ont été rapportées dans le mémoire que nous avons cité, nous avons conclu qu'il existait trois sortes d'oxide de fer: 1° un blanc au *minimum*, contenant, sur 1,000 partie, 0,225 d'oxigène, et 0,775 de fer; 2° un noir, au *medium*, contenant également, sur 1,00 partie, 0,24 d'oxigène, et 0,76 de fer; 3° un rouge, au *maximum*, contenant 0,31 d'oxigène, et 0,69 de fer. Nous avons conclu, en outre, que toutes les autres proportions d'oxigène et de fer qui existent dans les divers oxides que l'on peut se procurer, ne paraissent que des mélanges ou des combinaisons de deux ou trois de ces oxides.

56. Nous devons observer ici que cette conclusion que nous venons de tirer (qu'il n'existe que trois sortes d'oxides) se déduit des opérations chimiques auxquelles les oxides sont soumis, et que, par les procédés employés jusqu'à présent, on est toujours parvenu à séparer les deux oxides noir et rouge, que l'on croit exister à l'état de mélange ou de combinaison, dans ceux qui présentent des proportions différentes de celles que l'on trouve dans ces deux variétés. Cependant, nous n'oserions pas assurer qu'il n'existe pas des combinaisons différentes formées ou par la nature, ou par l'art, et que l'on ne serait pas encore parvenu à séparer aussi exactement que l'oxide noir et l'oxide rouge.

Au reste, nous abandonnons cette question aux chimistes et aux minéralogistes; il nous suffit d'avoir fait connaître les résultats auxquels l'état actuel des connaissances nous a conduits.

De l'action des acides sur les oxides de fer.

57. Les acides n'ont aucune action sur le fer pur; ils ne le dissolvent que lorsqu'il est à l'état d'oxidule. Souvent il se précipite des dissolutions lorsqu'il est à l'état d'oxide complet, c'est-à-dire, oxidé rouge; il paraît cependant qu'il peut encore, dans cet état, être retenu par l'acide sulfurique, et former un sulfate rouge.

Lorsqu'on verse un acide sur du fer pur, la première action du fer sur les composants est de leur enlever de l'oxigène, et, pour cet effet, de décomposer soit l'eau, soit l'acide. Dans l'acide nitrique, c'est l'acide qui est décomposé, dans l'acide muriatique, c'est l'eau. L'acide sulfurique présente un résultat mixte; lorsqu'il est concentré, c'est l'acide qui est décomposé, quand il est étendu d'eau, c'est ce liquide. Laplace (1) a fort bien expliqué ce phénomène, en supposant que, dans le premier cas, le peu d'eau contenue dans l'acide étant intimement combinée avec une de ses parties, c'est l'acide libre qui est décomposé; et, dans tout autre cas, si l'acide est combiné avec une partie de l'eau, c'est l'eau libre qui se décompose.

L'oxidule de fer se combine, en quelque sorte, avec tous les acides; avec les uns (les acides muriatique et sulfurique), il forme des sels cristallisables; avec d'autres (l'acide fluorique), une espèce de gelée; avec d'autres enfin (l'acide phosphorique), un sel insoluble.

58. L'ordre d'affinité des acides pour l'oxidule de fer, est, d'après Bergman (2), les acides oxalique, tartareux, sulfurique, muriatique, nitrique, arsenique, phosphorique, fluorique, citrique, formique, acétique, et boracique.

Dans son affinité pour les acides, le fer, d'après Lavoisier (3), occupe le deuxième rang parmi les métaux; il n'en est précipité que par le zinc,

---

(1) Académie des sciences, année 1782, pages 150 et suivantes.

(2) Journal de Physique, année 1773, tome 3, page 798.

(3) Académie des sciences, année 1782, page 555.

et il précipite les autres dans l'ordre qui suit : l'arsenic, l'argent, le mercure, l'antimoine, le bismuth, le cuivre, l'étain, le plomb, le nickel, le cobalt et le manganèse.

59. L'oxidule de fer est précipité en noir par les alcalis, et en blanc par les prussiates. L'oxide est précipité en rouge par les alcalis, en bleu par les prussiates, en noir par les gallates.

DES DIFFÉRENTES ESPÈCES DE FER.

60. Dans les arts, on distingue trois espèces de fer, 1° le dur et cassant; 2° le malléable et mou; 3° le malléable et élastique. On donne au fer de la première espèce le nom de *régule*, *fonte*, *fer cru*, *fer fondu*, *fer de gueuse*, *etc.*; à celui de la seconde le nom de *fer*, *fer battu*, *fer forgé*, *fer ductile* et *fer en barre*; celui de la troisième se nomme *acier*.

Ces trois espèces de fer ont des caractères et des propriétés distinctes et tranchées.

Le fer cru est moulé sous différentes formes, pour être employé d'une manière utile à nos besoins.

C'est par une seconde opération qu'on parvient à rendre le fer ductile. En le corroyant avec le marteau, l'ouvrier lui donne mille formes utiles.

L'acier possède à un degré éminent la solidité, l'élasticité et la dureté; ce sont ces propriétés et beaucoup d'autres, qui le rendent si précieux, et qui fournissent aux arts une matière que rien ne peut remplacer.

75. On a long-temps ignoré les causes qui déterminent les caractères distinctifs de ces trois espèces de fer.

Dans le dernier siècle, trois hommes également célèbres, se sont occupés de cette question avec quelques succès; l'un Français, *Réaumur*, et les deux autres Suédois, *Rinman* et *Bergman*. Le premier, en cherchant le meilleur procédé pour convertir le fer en acier; le second, en faisant l'histoire du fer, et le troisième, en soumettant les trois espèces de fer à une rigoureuse analyse. Ils sont arrivés tous les trois très-près du but qu'ils s'étaient proposés. Ils conclurent également qu'une matière particulière, à laquelle Réaumur donnait le nom de *soufre*, de *sel*,

Rinman et Bergman celui de *phlogistique*, était la cause des grandes différences que présentent ces trois substances.

Le travail de Réaumur se trouve consigné dans plusieurs mémoires imprimés parmi ceux de l'Académie des sciences, sur les arts et métiers, publiés par cette société savante (1). Celui de Rinman, dans son Histoire de l'art du fer, extraite en grande partie dans l'article *acier*, que Guyton a publié dans l'Encyclopédie, par ordre de matières, et celui de Bergman, intitulé *Analyse du fer;* lequel a été traduit en français par Grignon.

62. Il était réservé à trois académiciens français, Vandermonde, Monge et Berthollet, de soulever le voile qui enveloppait cette question. Ils ont prouvé, dans un excellent mémoire publié parmi ceux de l'Académie des sciences, pour l'année 1786 (2), que la principale cause des différences qui existent entre les fers, vient de la combinaison du carbone et de l'oxigène; que la fonte est composée de fer de carbone et d'oxigène; que le fer ductile pourrait n'être que du fer pur, s'il était bien réduit, mais que le meilleur fer (celui de Suède) retient toujours une très-petite partie d'oxigène et de carbone; enfin, que l'acier n'est autre chose qu'une combinaison de fer et de carbone.

Ces résultats ont été déduits de trois sortes d'expériences; 1° de la plombagine trouvée dans ces fers par Bergman; 2° du gaz hydrogène dégagé pendant la dissolution du fer; 3° de la cémentation du fer.

De la Plombagine trouvée dans les fers.

63. Bergman ayant soumis à l'analyse un grand nombre d'échantillons de fer d'espèces et de variétés différentes, trouva qu'ils donnaient tous un résidu noir, insoluble, dont la proportion était de 0,020 à 0,067 dans le fer cru; de 0,005 à 0,017 dans l'acier; et de 0,001 à 0,005 dans le fer ductile.

---

(1) Ces mémoires réunis forment un volume in-4°, sous le titre *de l'Art de convertir le fer forgé en acier, et d'adoucir le fer fondu*. Paris, 1722, chez Michel.

(2) Pages 132 et suivantes.

Ayant exposé à l'action du feu une quantité assez considérable de ces résidus, qu'il avait recueillie de plusieurs opérations, il trouva qu'elle contenait environ la moitié de son poids, d'une matière terreuse, silicée, ferreuse; que l'autre moitié s'était vaporisée; et comme la vapeur de cette matière, en contact avec de l'air, avait été recueillie par les trois académiciens français, qui remarquèrent que c'était de l'acide carbonique, ils en conclurent que la matière noire était du carbone; et que, d'après les analyses de Bergman, le fer cru, l'acier et le fer ductile sont composés de fer, de carbone et de matières terreuses.

Ce célèbre chimiste avance que le charbon et la terre silicée qui composent la matière noire que l'on trouve dans la fonte, le fer et l'acier, y sont dans une proportion égale; cependant il est des matières noires, celles, par exemple, que l'on retire du fer et de l'acier, qui ne contiennent pas sensiblement de silice : cette écart entre les résultats obtenus et ceux annoncés par Bergman, vient de ce qu'il n'a pas analysé séparément chaque espèce de résidu.

D'après les expériences du savant professeur d'Upsal, qui ont été rapportées et variées de plusieurs manières par un grand nombre de chimistes, on peut considérer le résidu noir de la fonte, comme composé de fer, de charbon et de laitier; celui de l'acier, comme composé de fer et de charbon. On pourrait donc établir de-là que ces trois espèces de fer sont composées d'une quantité moyenne.

D'après les expériences de Bergman.

	FER CRU.	ACIER.	FER DUCTILE.
Fer	0,956	0,988	0,997.
Charbon	0,022	0,012	0,004.
Matière siliceuse	0,022	0,000	0,000.

64. Bergman dit avoir trouvé dans ses fers jusqu'à 0,30 de manganèse. Tous les chimistes qui ont répété ses expériences (1), s'accordent

(1) Journal des mines, 4[e] volume, pages 30 et suivantes.

à regarder ce résultat comme inexact; c'est pourquoi nous ne croyons pas devoir en tenir compte.

Des Gaz dégagés pendant la dissolution.

65. Les proportions moyennes de gaz hydrogène, obtenues de la dissolution des différents fers dans les acides muriatique et sulfurique étendus d'eau, sont, d'après les académiciens français (1), pour la fonte, 67 mesures d'une once d'eau, obtenues de 100 gr. de fer cru; pour l'acier, 74; et pour le fer ductile, 76 (2). D'après Bergman (3), les proportions sont, pour la fonte, 40 pouces cubes suédois, pour 100 liv. docimatiques suédois; pour l'acier, 48; et pour le fer, 50.

Cette différence entre les proportions de gaz hydrogène, qui est beaucoup plus considérable que celle qui résulte de diverses proportions de fer pur contenu dans chaque variété (4), provient (d'après les académiciens français), de deux causes; 1° de l'oxigène resté dans la fonte; 2° du carbone dissous par le gaz hydrogène, qui se contracte et devient plus dense. On reconnaît et on retrouve ce carbone dissous en brûlant le gaz hydrogène avec du gaz oxigène dans un eudiomètre de Volta, et cela par la quantité plus ou moins grande d'acide carbonique produite dans cette combustion. Le gaz hydrogène pur ne produit que de l'eau; et lorsqu'il est obtenu par la dissolution des fontes grises, il donne, en général, plus d'acide carbonique dans sa combustion que celui qu'on obtient de l'acier, qui, lui-même, produit plus de gaz acide carbonique que le gaz hydrogène obtenu par le fer (5).

---

(1) Mémoires de l'Académie des sciences, année 1786.

(2) La proportion dans la fonte est une moyenne entre douze expériences, celle de l'acier entre quatre, et celle du fer entre cinq.

(3) Analyse du fer, pages 28 et suivantes.

(4) Les quantités moyennes du fer dans chaque variété étant :: 997 : 988 : 956, ou :: 1000:992:959; celles dn gaz hydrogène obtenues sont :: 76:74:67 :: 1000:9732:881, d'après les académiciens français; et, d'après Bergman, :: 1,000:960:800.

(5) Rinman avait observé ce dernier phénoomène.

De la cémentation de ces trois espèces de fers.

66. On prouve l'existence de l'oxigène dans le fer cru, en fondant de nouveau de la fonte un peu grise dans un creuset fermé, afin de la préserver du contact de l'air. Après avoir laissé le fer fondu quelque temps en bain, et l'avoir fait refroidir lentement, on remarque que sa couleur devient plus claire, plus blanche, tandis que l'acier soumis à la même opération, n'éprouve pas d'altération (1).

L'existence de l'oxigène dans la fonte, est encore prouvée par l'effervescence qui se forme lorsque l'on fond de nouveau de la fonte blanche dans un creuset recouvert de scories liquides : on voit la surface des verres terreux se gonfler, se boursouffler; alors on distingue, par les bulles et le bouillonnement du laitier, le dégagement du gaz acide carbonique ou de l'oxide de carbone qui se forme par la combinaison de l'oxigène avec le carbone.

67. On combine le carbone avec le fer, en l'exposant à l'action du feu, après l'avoir entouré de charbon, dans un creuset fermé hermétiquement. Le poids du fer augmente dans cette cémentation, et cette augmentation est toujours dépendante de la température qu'il éprouve et du temps pendant lequel il a été exposé au feu. Dans les expériences des académiciens français (2), l'augmentation variait entre 1/[illegible] et 1/[illegible]. On peut, par la cémentation, combiner avec le fer une quantité de charbon beaucoup plus considérable; mais l'acier qui en provient, contenant une trop grande quantité de ce combustible, devient difficile à traiter et à travailler.

En cémentant du fer, on remarque que la surface se couvre de petites empoules que les académiciens français attribuent à l'oxigène resté dans le fer, qui, pendant la cémentation, se combine avec le carbone qui le pénètre.

---

(1) Essai sur le phlogistique de Kirwane, note de Monge, page 321.

(2) Mémoires de l'Académie des sciences, année 1786, pages 162 et 163.

6.

On peut encore combiner du carbone avec le fer, en fondant ce dernier avec de la poussière de charbon dans un creuset fermé hermétiquement. Le poids de la fonte obtenue augmente en raison de la quantité du carbone combiné.

68. Telles sont les expériences à l'aide desquelles les académiciens français ont prouvé, 1° que la fonte est un composé de fer, de carbone et d'oxigène : on peut encore ajouter le laitier à ces substances; 2° que l'acier est une combinaison de fer et de charbon, et 3° le fer, une combinaison de fer pur et d'une petite quantité d'oxigène et de carbone.

L'oxigène et le carbone ne sont pas absolument nécessaires pour déterminer la bonté du fer ; souvent il serait plus avantageux de l'obtenir pur, si ce n'est lorsque l'on veut faire usage d'un fer dur, lequel doit contenir un peu de carbone ; mais comme le fer ductile est versé dans le commerce à un prix très-modique, il est extrêmement difficile de l'obtenir à un plus grand degré de pureté.

69. Depuis la publication du mémoire, fait en commun, par Vandermonde, Monge et Berthollet, plusieurs savants ont répété leurs expériences, et sont arrivés au même résultat. Parmi les travaux intéressants qui ont été publiés depuis, on distingue ceux que Clouet a présentés à l'Institut sur la fonte, le fer et l'acier.

Le but que s'était proposé ce savant (1) était de comparer le produit obtenu en fondant du fer, 1° avec du charbon; 2° avec du verre; 3° avec de l'oxidule de fer; 4° avec du charbon et du verre; 5° avec de l'oxidule de fer et du charbon.

Tels furent ses résultats : 1° il obtint de l'*acier,* en fondant du fer avec $\frac{1}{33}$ de charbon, et de la *fonte,* en fondant du fer avec une plus grande quantité de charbon.

2° Il obtint une espèce de *fonte* (2) particulière, en fondant du fer

(1) Journal des mines, n° 49, pages 1 et suivantes.

(2) Clouet a donné, dans cette circonstance, le nom de fonte à une combinaison de fer et de verre, parce qu'elle est cassante. Cette substance diffère cependant essentiellement des fontes, puisqu'elles contiennent toutes de l'oxigène, ainsi qu'il résulte des

avec du verre, quoiqu'il ne se soit combiné qu'une très-petite quantité de cette dernière substance avec la première.

3° Le fer ne se combina pas facilement avec l'oxidule; il produisit une fonte peu tenace, dont la cassure fut noire et sans grains (1).

4° En fondant du fer avec du verre et un peu de charbon, il obtint de l'acier fondu (2), et lorsqu'il augmenta la dose de charbon, il eut, pour résultat, de la fonte plus ou moins carbonée.

5° Enfin, le fer, l'oxidule de fer et le charbon, lui donnèrent du fer doux; en augmentant le charbon, de l'acier; en l'augmentant encore, de la fonte.

Ce savant observa de plus, qu'en fondant de l'acier avec un peu d'oxidule de fer, on pouvait obtenir du fer; qu'en fondant de la fonte avec du fer, on obtenait de l'acier; qu'on en avait encore en fondant de la fonte avec un peu d'oxidule de fer; et du fer, en augmentant un peu la proportion d'oxidule. Toutes ces expériences faites et publiées après celles des académiciens français, sont propres à confirmer leurs résultats. Elles sont moins complètes en ce que les fontes que Clouet obtint dans la première, deuxième, quatrième et cinquième séries de ses expériences, devaient différer, et différaient en effet, de celles qu'on obtient en traitant les minérais dans les hauts fourneaux; il leur manquait l'oxigène que ces dernières retiennent toujours. La troisième série des expériences de Clouet est intéressante, en ce qu'elle fait voir que l'oxidule de fer reste en nature dans la fonte, et qu'elle vérifie l'assertion de Lavoisier, que la plupart des fers sont un alliage de fer doux avec un peu d'éthiops martial, et non pas une combinaison de tout le fer avec un peu d'oxigène.

---

expériences des académiciens français et de celles de Lampadius, que nous ferons connaître.

(1) Cette couleur noire doit être différente de celle de la fonte carbonée. Il est également difficile de la reconnaître et d'en expliquer la raison.

(2) Pourquoi Clouet ne donne-t-il pas le nom de fonte à cette combinaison de fer et de laitier? La petite quantité de carbone combiné ne peut en former qu'une variété de fonte.

Nous n'avons pas encore appris que les expériences publiées par Clouet aient été répétées. Il serait bon cependant qu'elles le fussent; car, malgré l'analogie qu'elles présentent avec les beaux résultats des académiciens français, et quoiqu'elles semblent en être une conséquence rigoureuse, il serait absolument essentiel de soumettre quelques faits à une vérification exacte, afin de s'assurer s'ils sont constants.

70. La densité moyenne de ces trois espèces de fer est, d'après Rinman, celle du fer cru, 7281; de l'acier, 7795; et celle du fer ductile, 7700.

La fusibilité de la fonte est plus grande que celle de l'acier, et celle-ci plus grande que celle du fer (1).

L'extension de ces trois substances est, d'après Rinman (2), en passant de 12 degrés de Réaumur au rouge blanc; fer cru, 0,02143; acier, 0,02857; fer ductile, 0,01250.

L'extension du fer est, d'après Duluc, en passant de 0 à 80 degrés, 0,001258.

DU FER CRU.

71. Le fer cru est, comme on l'a vu précédemment, le produit de la réduction du minérai de fer et de la liquéfaction du métal à un degré propre à être coulé. Dans cet état, la fonte peut être versée dans des moules et y prendre toutes les formes qui conviennent aux objets auxquels on la destine.

Les principales propriétés de la fonte sont, d'être dures et cassantes; de présenter dans sa cassure des lames ou des grains plus ou moins gros; d'avoir même, quelquefois, l'apparence d'une cristallisation régulière. La couleur de sa cassure varie, elle est tantôt blanche et tantôt d'un gris très-foncé; il existe quelques fontes dont la cassure est noire. Le fer cru ne se forge ni à froid ni à chaud; il est beaucoup plus oxidable que les autres fers; il se dissout plus promptement dans les acides; il brûle plus facilement à l'air, et lance des étincelles vives et

---

(1) Rinman, Art. du fer, §. 271, n° 10.

(2) Article du fer, §. 291.

brillantes. Les acides y laissent ordinairement une tache noire. Sa densité varie entre 6800 et 7670; il peut être magnétisé par influence et par le frottement; il conserve une partie de la vertu qu'il a acquise, et cela dans des proportions très-variables. Il y a des fontes qui sont aussi susceptibles que l'acier de former de bons aimants artificiels.

72. Ramus, directeur de l'établissement du Creuzot, département de Saône et Loire, a fait, sur la résistance de la fonte, des expériences que Gazeran, alors directeur de la Verrerie, a publiées sous son nom dans les Annales de Chimie (1).

Toutes ces expériences ont été faites sur des barreaux C (Planche Ire) d'un pied et demi de long et de trois pouces d'épaisseur.

Une masse de fonte D, de neuf pouces de long, ayant un vide intérieur de cinq pouces de long et quatre de large, avait été placée dans une entaille faite dans un mur; on avait mis dans cette masse deux petits couteaux; à six pouces de distance, on posa le morceau de fonte sur leurs biseaux.

Sur le bord extérieur du barreau était fixé un lévier E, pesant deux cent douze livres et long de six pieds six pouces; il y avait à l'extrémité un plateau de balance F, dans lequel on plaçait des poids jusqu'à ce que les barreaux fussent rompus.

(1) Annales de chimie, 7e volume, page 97.

TABLEAU des poids employés pour rompre les différents barreaux de fer.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.			POIDS pour ROMPRE.
1.	Blanche provenant d'un canon qui avait crevé.	Obtenue du traitem. des minérais avec du charbon de houille dans un haut fourn.	1162 liv.
2.	Blanche, *idem*.		1096.
3.	Grise d'un haut fourneau du Creuzot.		1605.
4.	*Idem*.		1828.
5.	*Idem*.		2008.
6.	*Idem*, grise, du même endroit.		1771.
7.	*Idem*.		1721.
8.	*Idem*.		1806.
9.	*Idem*.		1632.
10.	*Idem*.		1468.
11.	Blanche du même fourneau, lorsqu'il était dérangé.		1028.
12.	Grise-blanchâtre, la tuyère étant obscure.		1405.
13.	Grise, n° 8, rompue à 1806.	Fonte, fondue de nouveau avec de la houille dans un fourneau à réverbère.	2025.
14.	Grise, du Périgord, fondue au charbon de bois.		1416.
15.	Grise, de Franche-Comté, *idem*.		1655.
16.	Grise anglaise.		1378.
17.	Grise : moitié Creuzot et moitié Franche-Comté.		1579.
18.	Grise, *idem*.		1762.
19.	Grise : deux part. Creuzot, une Franche-Comté.		1954.
20.	*Idem* : trois part. Creuzot, une Franche-Comté.		1687.
21.	Grise, avec laquelle on a coulé des canons au Creuzot.		2192.
22.	*Idem*.		2343.
23.	*Idem*.		1954.
24.	*Idem*.		1528.
25.	*Idem*.		1478.
26.	*Idem*.		1428.
27.	*Idem*.		1395.

On peut conclure de ces expériences :

1° Que la fonte grise est généralement plus résistante que la blanche.

2° Que le même fourneau produit, pendant son travail, des fontes dont les résistances sont très-variées, puisque celles qui ont été obtenues au Creuzot ont exigé, pour être rompues, des poids qui variaient entre 1028 et 2008.

3° Que les fontes sont moins résistantes lorsque le fourneau se dérange.

4° Que la fonte grise, refondue de nouveau au fourneau à réverbère, augmente de ténacité, probablement parce qu'elle se réduit, qu'elle devient plus homogène, que l'oxigène resté se combine avec le carbone et se dégage; enfin que le fer approche plus de l'état d'acier (1).

Nous devons observer que ces refontes ont un terme; car, d'après les expériences que nous avons faites au Creuzot, avec Ramus, par ordre du ministre de la marine, nous avons trouvé que, quelquefois à la deuxième refonte, souvent à la troisième, mais toujours à la quatrième, la résistance du fer cru était diminuée.

73. On a vu précédemment que le fer cru est en général composé de carbone, d'oxigène et de laitier.

Il est difficile de déterminer la proportion d'oxigène que les fontes retiennent; les analyses n'ont pas encore été dirigées vers cet objet. On peut cependant conclure l'existence de l'oxigène, des expériences mêmes des académiciens français; car leur fonte blanche ne produit que environ soixante mesures d'hydrogène (la mesure contenant une once d'eau distillée), tandis que le bon fer en produit soixante-dix-huit. De-là on pourrait presque conclure l'existence de 0,06 d'oxigène dans cette fonte. Lavoisier avait déja tiré la même conséquence, c'est-à-dire, que la fonte donnait une quantité d'hydrogène moins grande que le fer (2).

Ce que les chimistes, les docimasistes et les savants qui se sont occupés

---

(1) Ce résultat est conforme à celui de Proust, « que, si une fonte gagne en métal-« lisation par une continuation de température, elle perd aussi, par rapport à l'oxide, « un principe qui paraît indispensable à la solidité. » Journal de physique, année 1806, tome 2, page 164.

(2) Mémoires de l'Académie des sciences, année 1782, pages 553 et 554.

de l'analyse du fer, se sont principalement proposés de déterminer, ce sont les quantités de carbone, de laitier et les autres substances qui peuvent être séparées à l'aide des agents chimiques, et ils ont regardé, comme fer, tout ce qui manquait au poids des substances qu'ils ont retirées pour former celui du fer analysé.

Dans une analyse communiquée à l'Institut en l'an 1806, et qui a été publiée par extrait dans le Journal des mines (1), Vauquelin a trouvé que les fontes de quelques hauts fourneaux de la Bourgogne et de la Franche-Comté, tels que Drambon, Champfort, Gros-Bois, Pesmes, contiennent du fer, du manganèse, du phosphore, du chrome, de la silice, de l'alumine, de la chaux et de la magnésie.

74. Nous rapportons ici quelques analyses des fontes, faites par divers savants, afin qu'on puisse comparer leurs différences (2).

---

(1) Journal des mines, n° 119, tome 10, pages 381 et suivantes.

(2) Nous ajouterons ici quelques analyses de fontes de fer qui n'étaient pas comprises dans le Tableau ci-contre, lorsque nous l'avons publié.

LIEUX d'où viennent les fontes.	ESPECES de fontes.	FER.	MANGANÈSE.	CHARBON.	LAITIER.	SUBSTANCES ÉTRANGÈRES.		PAR QUI ANALYSÉ.
						ESPÈCES.	QUANTITÉ.	
Creuzot.	Grise....	93,15.	Trace.	.2,10.	.4,8..	Soufre. .	.0,3...	L'ingénieur Gueniveau, Journal des mines, tom. 22, p. 455.
						Phosph.	.0,75..	
Idem........	*Idem*....	96,79.	......	.2,40.	.0,54.	Phosph.	.0,27..	
Saint-Helène.	Blanche.	95,70.	.1,50.	.1,00.	.1,70.	Cuivre..	.0,10..	L'ingénieur Berthier, Journal des mines, tom. 23, p. 182.
Allevard.....	Grise....	92,8..	.1,80.	.3,00.	.2,2..	Cuivre. .	.0,18..	
Idem........	Mazée...	98,8..	.0,40.	.0,50.	.0,00.	Cuivre. .	.0,30..	

(1) ***TABLEAU** des Analyses de vingt-huit espèces de fontes.*

LIEUX D'OU VIENNENT LES FONTES.	ESPECES de FONTES.	FER.	MANGANÈSE.	CHARBON.	TERRES.	ESPÈCES.	SUBSTANCES étrangeres. QUANTITÉ.	
De Leufstadt........	Grise...	0,96..	......	0,02..	0,02..	......	....	Analyse du fer de Bergman, traduite par Grignon, sect. 8.
Idem..............	*Idem*....	0,967.	......	0,017.	0,016.	......	....	
D'Hallefort..........	Noire...	0,947.	......	0,017.	0,026.	......	....	
Idem..............	Grise...	0,957.	......	0,022.	0,021.	......	....	
De Forsmark.........	Truitée..	0,97..	......	0,015.	0,015.	......	....	
D'Akerby...........	*Idem*....	0,974.	......	0,013.	0,013.	......	....	
De Brattefors.........	Blanche.	0,975.	......	0,012.	0,013.	......	....	
D'Hallefort..........	Blanche.	0,98..	......	0,01..	0,01..	......	....	
Du Creuzot.........	Noire...	0,97..	......	0,015.	0,015.	......	....	Analyse de Gazeran, Annales de chimie, t. 7. pag. 112.
Idem..............	Très-grise	0,972.	......	0,014.	0,013.	......	....	
Idem..............	*Idem*....	0,973.	......	0,014.	0,013.	......	....	
$\frac{3}{4}$ Creuzot, $\frac{1}{4}$ Fr.-Comté.	Grise...	0,979.	......	0,011.	0,010.	......	....	
$\frac{1}{2}$ Creuzot, $\frac{1}{2}$ Fr.-Comté.	Grise...	0,980.	......	0,01..	0,01..	......	....	
Franche-Comté.......	Grise...	0,981.	......	0,01..	0,009.	......	....	
Périgord...........	Truitée..	0,984.	......	0,008.	0,008.	......	....	
Creuzot............	Truitée..	0,985.	......	0,008.	0,007.	......	....	
Creuzot, bons canons..	Grise...	0,992.	......	0,004.	0,004.	......	....	
Idem..............	Grise...	0,991.	......	0,005.	0,004.	......	....	
Anglaise...........	Truitée..	0,995.	......	0,002.	0,001.	......	....	
Creuzot............	Blanche.	0,996.	......	0,002.	......	......	....	
Idem..............	*Idem*....	0,997.	......	0,002.	......	......	....	
Idem..............	*Idem*....	0,998.	......	0,002.	......	......	....	
Allevard, dép. de l'Isère.	Grise...	0,9353	0,018.	0,0333	0,0134	Cuivre.	Trace.	Analyse de l'Ecole pratique des mines de Moustiers.
Idem..............	Blanche.	0,9742	0,0154	0,000.	0,0104	Cuivre.	Trace.	
Saint-Helène, départ. du Mont-Blanc.......	Grise...	0,9270	0,0180	0,030.	0,022.	Cuivre phosphore.	0,0024. 0,00055.	
Idem..............	Blanche.	0,9569	0,0154	0,010.	0,170.	Cuivre.	0,0007.	Registre du Conseil des Mines, n° 266.
Allevard...........	Mazée...	0,981.	0,020.	0,005.	0,000.	Cuivre.	0,004.	

(1) Comme Bergman et Gazeran n'ont pas séparé les terres qui étaient combinées dans la matière noire qui leur est restée, nous avons supposé qu'elles entraient pour moitié du poids total, ainsi que

On peut conclure de ces trente-deux analyses, que le charbon contenu dans les fers crus, varie entre 0, et 0,0333, et les scories entre 0,001, et 0,048 (1).

75. D'après les expériences de Buffon (2), le poids spécifique du pied cube de ces différentes fontes, est :

Fonte blanche épaisse.................	457 liv.
Idem, fluide.........................	462
Fonte grise.........................	485
Idem, tenue plus long-temps au bain...	512

D'après Tiemann (3), la pesanteur spécifique de l'eau étant de 1000, celle des fontes est :

Fonte ordinairement grise, provenant des minérais calcaires très-fusibles.. 7670.

Fonte blanche provenant du même minérai............. 7600.

Ce qui porterait le poids du pied cube,	Du mètre cube,
Fonte grise.................. 539.	7670 kilog.
Idem blanche................ 532.	7600.

Le poids des fontes présente de grandes différences qui sont subordonnées à la nature du minérai et à la marche du fourneau ; car, d'après Tiemann, la pesanteur spécifique des fontes grises est :

Fonte grise provenant des minérais	calcaires...	7670.
Idem.........................	argilleux...	7050.
Idem......................	marécageux...	6800.

De la Fonte blanche.

76. La fonte blanche est composée de fer, d'oxigène, de laitier, et d'une petite quantité de carbone, qui passe rarement un centième. Elle

Bergman s'en est assuré lui-même. Cependant tout nous fait croire qu'elle doit être en proportion moins grande.

(1) On divise les fontes en trois classes, par rapport à leurs variétés, en fonte blanche, truitée et grise.

(2) Analyse du fer par Bergman, traduite par Grignon, page 30.

(3) Tiemann, Traité des forges, §. 385.

peut contenir accidentellement du phosphore, du soufre, du manganèse, du cuivre, du chrome, et plusieurs autres substances qui donnent au fer qui en provient, diverses défectuosités.

Il paraît que c'est à l'absence du carbone que cette fonte doit en général sa couleur blanche; quelques savants ont cru, d'après des essais faits en petit, que le manganèse contribuait à lui donner cette couleur. Junckel le jeune (1) prétend même que le minéral manganésiféré ne donne pas de fonte grise : c'est une erreur; car, dans le pays où l'on traite des minérais spatiques manganésiférés, tels que les départements de l'Isère et du Mont-Blanc, la Stirie, la Carinthie, le Tyrol, etc. (2), on obtient des fontes grises et blanches indistinctement, et relativement à la proportion de charbon que l'on emploie; enfin, l'on vient de voir, dans le tableau des analyses de fontes de fers, que des fontes blanches ne contenaient que 0,015 de manganèse, tandis que des grises en contenaient 0,018; il faut cependant distinguer, parmi les fontes blanches, celles qui ont éprouvé un refroidissement prompt et subit, soit en les exposant à l'action de l'eau froide, soit en les coulant très-mince et les exposant ainsi à l'action de l'air froid; celles-là sont ordinairement blanches. Courtivron en avait déja fait la remarque (3); Jars s'en assura en faisant quelques expériences à l'appui (4). Rinman vérifia

(1) Journal des mines, nº 16, page 173.

(2) Journal des mines (nº 15, page 272). « La mine la plus célèbre en Stirie, est celle « d'Arzberg, située entre Eisenhartz et Vordenberg. Elle fournit presque tout le fer « fabriqué dans la province. » (page 273.) « La mine y est à l'état de fer spatique cris- « tallisé en prisme rhomboïdale. » (Voyage métallurgique de Jars et Duhamel, page 58.) « On cherche toujours (à Eisenhartz) à avoir une fonte blanche que l'on estime meilleure « que la grise : on augmente le minérai et on diminue le charbon, lorsqu'on aperçoit » que la fonte tend au gris. » (en Tyrol, page 64.) « La plus grande partie du minéral « est à petites facettes, et ressemble à celui d'Eisenhartz. » (p. 66.) « Les gueuses ou floss « pèsent environ trois quintaux. Il y en a dont la cassure et le grain sont blancs, d'autres « tout noirs; ce sont ces derniers que l'on destine à faire de l'acier. »

(3) Art des forges, 2e partie.

(4) Voyages métallurgiques, 1er volume, page 17.

les expériences de Jars (1); Guyton les répéta aussi de son côté avec beaucoup de soin (2); et il remarqua que la fonte blanche prenait un peu de gris, en refroidissant avec une lenteur excessive, tandis que la fonte grise blanchissait en refroidissant très-promptement. On voit, d'après cela, comment des plaques de fonte, coulées sur le sable, peuvent présenter, dans leur cassure, les trois différentes couleurs : blanche à la surface supérieure, exposée à l'action de l'air; truitée au milieu, et grise à la surface inférieure qui touche immédiatement le sable, et qui a dû en conséquence refroidir avec beaucoup de lenteur.

La fonte blanche se casse facilement; elle est dure, elle résiste à l'action de la lime et du ciseau; sa cassure est grenue, striée ou lamelleuse; souvent elle présente de très-grandes lames. Sa densité varie entre 6500 et 7600. La proportion d'hydrogène obtenue de cette fonte par les académiciens français, varie entre 59,48 mesures et 66,31; ce qui porterait la proportion d'oxigène, dans ces sortes de fontes, entre 0,055 et 0,065 (en supposant qu'elles ne continssent pas plus de charbon que le fer de Suède).

77. On peut diviser la fonte blanche en trois classes, par rapport à ses variétés. 1° *Le blanc mat.* Ce fer cru se casse facilement; son grain est fin; sa couleur tire un peu sur le jaune; lorsqu'il est fondu, il coule avec facilité; son mouvement est onduleux, et produit un léger murmure. Cette fonte se refroidit promptement, se retire un peu, et augmente de volume en se refroidissant. Sa surface est souvent parsemée de petits trous qui empêchent que cette sorte de fer soit employée avec avantage dans la fabrication des objets coulés. La lime et le ciseau entament un peu cette fonte qui s'oxide au plus léger contact avec l'oxigène. Lorsqu'en coulant elle lance des étincelles, c'est une marque qu'elle sera cassante à chaud.

2° *Blanc vif.* Cette fonte est extrêmement dure, aigre et très-cassante;

---

(1) Histor. Jaern., 3, 4.

(2) Encyclopédie par ordre de matières, *Chimie* (Acier), page 440.

sa cassure est lamelleuse, souvent formée de grandes lames spéculaires, quelquefois aussi striée, rayonnante. Ce fer cru est si dur, que ni la lime ni le marteau ne peuvent en détacher la moindre partie.

3° *Blanc argenté.* Cette fonte crue est moins dure que la précédente; sa cassure est fine, compacte, assez plane; sa couleur moins vive : elle tire sur le bleuâtre.

De la Fonte grise.

78. La fonte grise est composée de fer, de carbone, de scories et d'un peu d'oxigène. Elle peut contenir accidentellement du phosphore, du soufre, du cuivre, du chrome, etc. Tout porte à croire qu'elle doit sa couleur à la grande quantité de carbone qu'elle contient. Cette quantité a été trouvée de 0,033 dans quelques fontes. Lorsqu'on la dissout dans l'acide muriatique, elle laisse dégager un gaz hydrogène d'une odeur forte, qui produit, dans sa combustion avec le gaz oxigène, de l'eau et de l'acide carbonique, souvent même il se forme de l'huile pendant la dissolution (1). Les proportions de gaz hydrogène obtenues, de ce fer cru, par les académiciens français, varient entre 67,5 (mesure d'une once d'eau) et 75,5; ce qui prouve, en quelque sorte, l'existence de l'oxigène dans ces fontes.

Ce fer cru est un peu moins fusible que la fonte blanche; il est ordinairement doux, et peut être travaillé à la lime et au ciseau, comme le fer. Il est presque ductile; il supporte long-temps les coups de marteau sans se rompre. Sa cassure est grenue, et sa couleur passe du gris au noir. Lorsque l'on coule de la fonte très-grise, sa surface, en se refroidissant lentement, se couvre de graphite qui tache le doigt. Cette variété de fer cru reste long-temps liquide; elle se refroidit lentement, et se moule assez bien. Sa densité varie entre 6800 et 7700.

79. On peut diviser la fonte grise en trois classes, par rapport à ses variétés. 1° La fonte d'un *gris clair.* Sa cassure est compacte et à grains

---

(1) Vauquelin, Journal des mines, n° 119, page 392.

fins. Sa couleur gris clair; elle est très-fluide lorsqu'elle est fondue à une haute température; elle ne laisse pas jaillir d'étincelles brillantes en coulant; elle reste long-temps liquide, et elle ne dégage pas de carbures de fer en se refroidissant.

2° La fonte *grise*. Sa cassure est également compacte; son grain un peu plus gros; sa cassure est d'autant plus fine, que les morceaux ont été fondus plus minces.

3° La fonte *noire*. Elle a peu de dureté et de cohésion. Sa cassure est moins compacte que celle des deux autres sous-variétés. Ses grains sont gros, quelquefois lamelleux : on la travaille facilement à la lime et au ciseau. Lorsque ce fer cru a été refondu, sa surface, en se refroidissant, devient ronde et onduleuse, et elle se couvre d'une quantité considérable de carbures de fer.

De la Fonte truitée.

80. On appelle ainsi un fer cru qui présente, dans sa cassure, un fond gris parsemé de points blancs, ou un fond blanc parsemé de points gris. Cette espèce de fonte contient une proportion moyenne de graphite, entre la quantité contenue dans la fonte grise et celle contenue dans la fonte blanche. Ses propriétés et ses qualités sont aussi moyennes entre celles des deux premières variétés.

La fonte truitée est plus dure que la fonte grise; elle est plus molle, plus malléable, plus résistante que la blanche : on la travaille plus facilement à la lime et au marteau. Sa densité est moyenne entre la fonte grise et la blanche; la tache que forme l'acide nitrique est plus noire que celle de la dernière fonte, et plus blanche que celle de la première.

81. On divise ordinairement cette fonte en trois sous-variétés. 1° La *grise truitée;* elle est un peu plus dure que la fonte grise. Sa cassure présente des points blancs sur un fond gris. Lorsque ce fer cru a été refondu, il lance des étincelles brillantes. Après le refroidissement, sa surface est plane, quelquefois un peu convexe; ses bords sont aigus.

2° La *blanche truitée;* elle est encore plus dure que la précédente. Sa cassure offre à l'œil des points noirs sur un fond blanc; fondu, ce fer

cru lance plus d'étincelles que le précédent : on le travaille moins facilement à la lime et au ciseau ; c'est ordinairement cette variété de fonte truitée qui donne, en se refroidissant sur le sable, les trois caractères dont il a été parlé précédemment.

3° *La fonte truitée également*. Cette sous-variété occupe le milieu entre les deux précédentes. Sa cassure laisse apercevoir un mélange égal de points noirs et blancs.

82. Trois ou quatre centièmes de carbone seraient trop peu considérables pour donner à la cassure de cette variété de fonte, la couleur gris-noir qui la fait distinguer, si le carbone, déja combiné avec le fer, ne se séparait pas par un long refroidissement, sous la forme de carbure de fer, et si ce carbure de fer n'enveloppait pas des particules plus ou moins grosses de fer pur. Cette séparation, qui n'est présentée ici que comme une hypothèse, est d'autant plus probable que, lorsqu'on surprend la fonte en la refroidissant promptement avant que le carbure de fer ne puisse se séparer, celui-ci, qui est plus disséminé, n'est plus aussi sensible à la vue, et la fonte a une couleur plus blanche.

La couleur truitée de plusieurs fontes vient ici ajouter à la probabilité de cette hypothèse; lorsque les particules de fer sont en trop grande quantité pour être toutes couvertes d'une enveloppe de carbure, elles se divisent en deux parties ; les unes se couvrent de carbures de fer, qui se dégagent et paraissent avec une couleur noire; les antres qui n'ont pas pu se couvrir de graphite, puisqu'il n'en existe pas une assez grande quantité, restent avec la couleur blanche qui leur est propre.

Au reste, nous essaierons d'expliquer la formation des diverses couleurs des fontes, les causes qui les déterminent, et l'usage que l'on peut en faire pour connaître et distinguer les qualités de ces sortes de fers, lorsque nous traiterons du choix des fontes, relativement aux objets auxquels on les destine.

83. Les fontes sont employées à des usages très-différents. On les coule dans des moules pour en obtenir différents objets ; d'antres sont travaillées de nouveau, et sont rafinées de manière à produire du fer ou de l'acier.

Lorsqu'on a le choix entre plusieurs fontes, il faut savoir employer chacune aux objets auxquels elles sont le plus convenables. Les fontes qui produisent du fer cassant à froid peuvent être fondues avec plus d'avantage pour la fabrication des poteries; les fontes grises, qui exigeraient un grand travail pour leur raffinage, peuvent être employées à la fabrication de l'acier, lorsqu'elles sont susceptibles de produire un bon fer; elles peuvent encore être fondues et coulées en canons, lorsqu'elles ont assez de résistance.

On coule rarement des objets avec de la fonte blanche, à cause de sa fragilité. Il y a cependant des circonstances où il faut employer cette variété de fonte de préférence; c'est lorsque les objets coulés doivent être durs, et qu'ils doivent avoir de la résistance; comme les enclumes, les marteaux de fer, etc. Nous ferons connaître avec plus de détails, le meilleur usage de chaque espèce de fonte, en traitant de la fonte moulée et de l'affinage du fer.

DU FER DUCTILE.

84. Le fer ductile n'est autre chose que du fer cru affiné et passé sous une machine de compression, pour rapprocher plus intimement ses molécules, augmenter leur cohésion, et le rendre plus malléable.

S'il était possible d'affiner complètement le fer cru et de lui enlever toutes les impuretés qu'il contient, le fer ductile serait du fer pur; mais quelque soin que l'on prenne, cette espèce de fer retient toujours un peu de carbone, et quelquefois un peu d'oxigène : souvent ces deux substances existent séparément dans les fers : quelquefois aussi on les y trouve réunies. Plusieurs fers contiennent en outre, mais accidentellement, du phosphore, du soufre, du chrome, et plusieurs autres métaux, des verres terreux, et des combustibles qui altèrent leurs qualités.

85. Bergman a trouvé du graphite dans presque toutes les analyses de fer qu'il a faites.

TABLEAU des Analyses de Bergman.

Espèces de fer.	Quantité de fer.	Quantité de graphite.
Fer forgé d'Husaby	0,994	0,006.
——— d'Akerby	0,995	0,005.
——— de Leuffstadt	0,997	0,003.
——— de Brattfors	0,997	0,003.
——— de Grangen	0,999	0,001.

On voit, d'après ce tableau, que la proportion de matière noire varie, dans tous ces fers, entre un et six millièmes. Si l'on pouvait supposer avec Bergman que cette matière contînt la moitié de son poids de fer et de terre, les proportions de carbone seraient entre cinq et trente dix millièmes.

86. Dans les expériences des Académiciens français, les proportions d'hydrogène obtenues, varient, dans quatre variétés de fer qu'ils ont analysées, entre 75,23 (mesure d'une once d'eau), pour le fer du Creusot, et 77,90, pour le fer de Suède. Si l'on pouvait supposer que l'hydrogène obtenu du fer du Creusot n'ait pas été condensé par du carbone, il s'en suivrait qu'il contiendrait environ un centième d'oxigène.

Du fer forgé qui avait été un peu rouillé à la surface ne produisit que 74,55 (mesure d'une once d'eau) de gaz hydrogène, donc il pourrait, dans la même hypothèse, retenir environ 1 gr., 3 d'oxigène.

87. La densité du fer en barre varie, d'après Bergman, entre 7751 et 7827, moyenne 7770. La pesanteur moyenne, d'après Tiemann, est de 7788, et, d'après Rinman, de 7700.

88. Le fer a beaucoup plus de tenacité que la fonte; il résulte de quelques expériences faites à Saint-Gervais en Dauphiné (1), que ce métal forgé a, à-peu-près trois fois plus de tenacité que quand il n'est que fondu seulement.

Des expériences comparatives sur la tenacité du fer ont été faites sur

(1) Recherches sur l'Artillerie, par M. Texier de Norbeck, tome 2, page 391.

des barreaux de deux pouces de long, que l'on fixait dans une espèce d'étrier G (Pl. Ire). Ils étaient placés sur des couteaux H, dont les tranchants étaient éloignés l'un de l'autre de dix-huit lignes; on plaçait, sur le milieu des barreaux, un crochet à couteau I, à l'extrémité duquel on suspendait le plateau d'une balance K, que l'on chargeait de poids, jusqu'à ce que le barreau se rompît.

Le tableau suivant indique les poids employés pour rompre des barres de fonte et de fer de grosseurs différentes, ainsi que le temps que l'on a mis à charger le plateau, et celui pendant lequel le barreau a supporté la charge.

TABLEAU des Résistances des Fontes de fer, comparées à celles que les fers forgés ont indiquées.

Largeur.	Épaisseur.	Poids pour rompre.	Temps.
FONTES.			
3 lignes.	1,5 lignes.	500 liv.	7'.
3	3	900	30'.
4	2	500	7'.
4	4	1650	36'.
4	4	1775	37'.
FERS FORGÉS.			
0,5 lignes.	1 lignes.	211 liv.	14'.
1	1	581	24'.
2	1,5	1831	60'.
2	2	2231	35'.
3	1,5	2931	45'.
3	3	4131	64'.
4	3	5931	120'.
4	4	11587	356'.

Musschenbroek a fait des expériences sur la tenacité du fer forgé (1);

(1) Cours de physique expérimentale, 2e volume, §. MCXLIII, page 112.

il suspendait à cet effet, entre deux anneaux L, des prismes M de fer forgé, de $\frac{1}{10}$ de pouces (du Rhin) de largeur, et, par le moyen de poids placés dans le plateau inférieur, il déterminait leur résistance.

TABLEAU des Expériences de Musschenbroek.

Espèces de fer.	Poids employés.	
Fer d'Espagne, de Ronda dans l'Andalousie	800 liv.	800.
Fer de Suède	870	726.
Idem, du même endroit	760	
Idem	750	
Idem	670	
Fer d'Osmonde	750	700.
Idem	680	
Idem	670	
Fer d'Allemagne, marqué BR.	910	755.
Idem	600	
Fer d'Allemagne, marqué L.	840	740.
Idem	700	
Idem	680	
Fer d'Allemagne, ordinaire	690	676.
Idem	670	
Idem	670	
Fer de Liége	810	723.
Idem	750	
Idem	610	

En comparant la tenacité du fer forgé à celle de plusieurs autres métaux, Musschenbroek et Thomson ont trouvé que celle du fer occupait le premier rang. Ces ténacités sont,

	D'après Musschenbroek.	*Thomson.*
Or	578	150,07.
Platine		274.
Argent	1156	187,15.

D'après *Musschenbroek*.		*Thomson*.
Cuivre	578	302,26.
Fer	1730	549,25.
Etain	188	31.
Plomb	25	18,4.
Zinc	83	18,2.
Bismuth	92	20,1.
Antimoine	30	7.

La résistance et la ténacité des fers présentent beaucoup de variétés, soit relativement à leur qualité, soit relativement à la manière dont ils ont été forgés. Prony a annoncé verbalement, dans une des séances de l'Institut, que l'on a observé à l'École des Ponts et Chaussées, dans une suite d'expériences entreprises pour déterminer la ténacité des fers (1), qu'une légère incision faite avec une lime sur la surface forgée d'un barreau, diminuait quelquefois sa tenacité de près de moitié.

89. On divise ordinairement le fer ductile en quatre classes, par rapport à ses variétés : *fer doux*, *fer cassant à froid*, *fer brisant à chaud*, et *fer aigre* cassant à froid et brisant à chaud.

Du Fer doux.

90. Les principaux caractères du fer doux sont, d'être ductile à froid et à chaud, de s'étendre sous le marteau, et de pouvoir, dans ces deux circonstances, être replié plusieurs fois sur lui-même sans se rompre; de se dilater beaucoup, de se brûler, de s'oxider facilement lorsqu'il est exposé rouge à l'action de l'air; de se rouiller lentement et uniformément, lorsqu'il est exposé à l'action combinée de l'air et de l'eau; d'être

(1) Nous avons cru devoir faire graver ici la machine imaginée par Perronet, pour mesurer la résistance et la ténacité des fers, des bois et des métaux. On peut, pour avoir de plus grands détails à cet égard, consulter le deuxième cahier du Recueil des Mémoires des Ponts et Chaussées, publié par M. Lesage, ingénieur en chef de première classe.

très-difficile à fondre (1), et de lancer, en se fondant, des étincelles vives et brillantes (2), de ne pas augmenter de dureté par la trempe; de prendre une couleur de gris clair, lorsque sa surface a été limée et polie; d'acquérir fortement la vertu magnétique, lorsqu'il est influencé par un aimant, et de perdre promptement cette propriété, lorsqu'il est hors de sa sphère d'activité.

91. La plupart des métallurgistes divisent le fer ductile en deux ou trois sous-variétés : fer grenu, fer nerveux et fer mélangé. On appelle fer *grenu* celui dont la cassure présente une espece de grain plus ou moins brillant, et fer *nerveux*, celui dont la cassure offre à l'œil des filaments.

Le fer grenu paraît avoir une tenacité moindre que le fer nerveux; dans le premier, les grains sont juxtaposés, ils n'ont qu'une faible adhésion; dans le second, les molécules sont plus intimement réunies.

Le fer *grenu* peut être, 1° à gros grains, ou à facettes nombreuses et irrégulières; la couleur de sa cassure tire sur le bleuâtre; 2° à grains plus gros; celui-ci a moins de facettes; il devient un peu lamelleux; sa cassure tire sur le blanc foncé; 3° lamelleux, la couleur de sa cassure est argentine.

Le fer *nerveux* peut être, 1° à nerfs courts, la couleur de sa cassure est gris foncé; 2° à longs nerfs, sa couleur tire sur le gris blanc; 3° à nerfs lamelleux, sa couleur est gris blanc.

Le fer *mélangé* est composé ou mélangé de ces deux variétés; une partie de sa cassure est nerveuse, et l'autre grenue.

92. On considère ordinairement le fer nerveux comme le plus tenace, le plus ductile, le plus extensible, le plus résistant; et le fer grenu comme le plus aigre et le plus cassant. Ce jugement porté sur la qualité du fer, relativement au nerf ou au grain de sa cassure, est loin d'être exact. Le nerf ou le grain peuvent être donnés à volonté au même

---

(1) Art et Manufacture, tome 7, page 244. M. Gorgé Mackenzie s'est assuré que le fer pur pouvait être fondu à 158 du thermomètre de Wedgwood.

(2) Ces étincelles sont un peu différentes de celles que produisent les fers cassants; elles sont plus brillantes que celles qui sont produites par les fontes grises.

morceau; on donne du nerf à tous les fers ductiles, en les forgeant à froid; on donne du grain au fer, en le faisant refroidir, après l'avoir chauffé sans être forgé.

Dans plusieurs circonstances, le nerf acquis par le fer, en le travaillant à froid, diminue sa résistance et sa ténacité. Lorsqu'on tire du fer à la filière, et qu'il a acquis du nerf par cet étirement, il faut promptement lui faire perdre de son nerf en le chauffant, sans quoi il se romprait en le tirant de nouveau.

Au lieu des trois divisions faites par la nature des grains ou des filaments que présente la cassure du fer, et que plusieurs métallurgistes regardent comme essentielles, on peut adopter celle des deux sous-variétés, de fer *mou* et de fer *dur*.

93. Le fer *mou* est le plus pur des fers doux; il se forge, s'étend, s'étire, se plie, se replie avec la plus grande facilité, et cela à froid aussi bien qu'à chaud. Il n'a pas d'élasticité appréciable, il conserve tous les plis qu'on lui donne; sa résistance est très-grande, un fer de 77 décimillimètres de diamètre peut supporter un poids de 210 kilogr. sans se rompre. Un fil d'un mètre de long peut être étiré assez fin pour ne peser que 2 grains; celui-ci est indiqué dans le commerce, sous le n° 12.

C'est de tous les fers celui qui a conservé le moins de carbone. Une goutte d'acide nitrique, mise sur sa surface blanchie ou limée, y laisse une tache parfaitement blanche. Son tissu est nerveux ou grenu, suivant la température à laquelle il a été forgé. Il s'oxide à l'air avec une grande facilité. On peut l'employer avec succès pour la confection du fer blanc, des canons de fusil, du fil de fer, des clous, etc.

94. On reconnaît le fer dur en le forgeant, et cela par la difficulté qu'il a à s'étendre à froid et à chaud. Il est dur à travailler; il acquiert, par la trempe, de la dureté et de l'élasticité. Il a du corps, résiste mieux que le fer mou aux usages auxquels on le destine. Sa cassure conserve des rebords, elle présente des petites facettes bleues ou de couleur terne, ou de larges fibres. Cette sous-variété du fer est un peu carbonée; c'est au graphite qu'il contient que sont dues ses propriétés. Une goutte d'acide nitrique y laisse une tache grise. Le fer dur se fond un peu

mieux que le fer mou, donne moins de déchet, s'oxide moins facilement à l'air. On peut le regarder comme un intermédiaire entre le fer mou et l'acier.

Du Fer cassant à froid.

95. Le fer aigre, cassant à froid, se distingue du fer doux en ce qu'il se casse net lorsqu'on frappe à faux dessus. Il est des fers dans lesquels cette défectuosité est portée à un degré tel, que des barres, qu'on laisserait tomber, se casseraient en plusieurs morceaux.

Sa cassure paraît être composée de lames plus ou moins grandes, qui passent sensiblement au grenu; ses grains sont gros et brillants, leur couleur est blanche, celle des lames est blèuâtre.

Les lames et les grains diminuent un peu en forgeant le fer; ils augmentent en le trempant. Plus les lames et les grains sont considérables, plus le fer est cassant.

Étant chauffé, ce fer est très-tendre; il se forge plus facilement que le fer mou. On s'en sert ordinairement pour fabriquer les pièces qui offrent quelques difficultés à être forgées, telles que des verges cylindriques, des clous, etc. La facilité avec laquelle on peut le forger, et la grande abondance des minérais qui le produisent, déterminent les maîtres de forges à le travailler et à le verser dans le commerce.

Le fer cassant est plus pesant et moins oxidable que le fer doux; sa densité est, d'après Bergman, 7791 pour le fer aigre des forges de Braas: le fer ductile des mêmes forges n'a que 7751. Il se fond à une température moindre que celle qui est nécessaire au fer doux pour le faire entrer en fusion. L'acide nitrique y laisse une tache noire. Il est moins fortement magnétisé par influence, mais il conserve mieux le magnétisme qu'il a reçu.

Cette variété de fer en barres n'est propre, ni à la fabrication de fil d'archal, ni à celle du fer blanc; elle ne peut être employée à aucun des ouvrages de fer qui supportent des poids ou des chocs.

Des Fers brisants à chaud.

96. On appelle fers *rouverins* ou brisants à chaud, ceux qui se laissent difficilement forger lorsqu'ils sont rouges, et qui se gercent en éprouvant l'action des machines comprimantes.

On distingue, parmi les fers rouverins, deux sortes de défauts : le premier qui est particulier à quelques fers, et qui consiste à se briser, à se pulvériser lorsqu'on les forge à une certaine température, et à supporter parfaitement la compression et l'extension sous le marteau, lorsqu'ils sont ou plus chauds ou plus froids; on les nomme *fers de couleurs.* La seconde défectuosité consiste à ne pouvoir pas être pliés sans se rompre ou se briser dans le pli; ce défaut devient encore sensible lorsqu'on troue une barre rouge; le fer se brise et se rompt autour du trou.

Ces fers peuvent être brisants à une première courbure; quelquefois ils ne se brisent qu'en les redressant, ou en les courbant une seconde fois; ce qui dépend du degré de brisant que le fer peut avoir. Il y a des fers qui ne paraissent brisants que par un défaut particulier qui n'existe que dans une partie de la barre; ces fers, forgés de nouveau, ou essayés dans tout autre point, se laissent forger, s'étendent et se plient parfaitement à chaud. Il ne faut pas confondre ces défauts accidentels avec ceux qui tiennent à la nature du fer.

On trouve, dans le commerce, beaucoup moins de fers brisants à chaud, et sur-tout de fers de couleurs, que de fers cassants à froid, et cela, parce que, quand le fer est affecté de ce défaut à un trop haut degré, il ne peut être forgé et réduit en barres qu'avec une grande difficulté; lorsqu'au contraire ce défaut est moindre, on le forge plus facilement, mais il est difficile que ce vice ne s'aperçoive pas sur les arêtes des barres qui se crévassent et se remplissent de gerçures.

Les caractères généraux du fer brisant à chaud sont, de pouvoir se laisser forger, s'étendre et se plier à froid, et de ne pouvoir pas supporter la même opération quand il est chauffé rouge, d'être doux et liant à froid, de prendre à la lime une couleur bleuâtre; d'avoir une cassure fibreuse, inégale, de couleur claire et non compacte, de lancer

des étincelles rouges et grosses lorsqu'il a éprouvé une chaude suante, ou, lorsqu'il est fondu, d'exhaler quelquefois une odeur de soufre; d'être très-oxidable, de se rouiller facilement à l'air, et de se bien dissoudre dans les acides; de produire une tache grise avec l'acide nitrique, et de conserver en partie le magnétisme qu'il reçoit par influence. Cette espèce de fer est propre à la fabrication des objets qui doivent avoir une très-grande résistance, ou qui doivent être travaillés à froid; tels sont les canons de fusil et plusieurs autres ouvrages. La fonte qui le produit ne peut nullement servir à couler des poëles, des fourneaux, des ustensiles de cuisine, à cause de la mauvaise odeur que répandent quelques-unes de ces fontes, lorsqu'elles sont chauffées.

Du Fer aigre.

97. Gerhard, dans son mémoire sur la différence des fers, en distingue une quatrième variété sous le nom de fer *aigre;* c'est un fer qui participe à-la-fois des deux défauts, d'être cassant à froid et brisant à chaud. Nous avons analysé un échantillon de cette variété de fer qui nous avait été envoyé de Lyon; il contenait 0,01 de phosphore et 0,001 de carbone. Ce fer est trop mauvais pour pouvoir avoir beaucoup d'usage, on ne peut l'employer qu'à fabriquer des grilles; il a un éclat presque cristallin et terne.

98. Toutes les variétés de fer que nous avons examinées jusqu'à-présent peuvent, malgré leurs défauts, être limées, dressées et polies. Il y en a cependant, parmi eux, qui ont encore une nouvelle défectuosité, qui nuit à leur redressement, à leur applatissement, au poli de leur surface. C'est un mélange de grains durs parsemés dans le fer, sur lesquels la lime ayant moins de prise, conserve des aspérités; ce défaut, qui n'en est réellement un que pour les fers qui doivent être limés, est assez commun, et la cause en est peu connue. Cependant, il paraît que l'on peut faire naître des grains dans ces fers, en leur donnant une chaude suante, et les laissant refroidir lentement. Ces grains peuvent être détruits, au moins en grande partie, en forgeant le fer, et en continuant de le forger lorsqu'il se refroidit, comme si l'on voulait lui donner du nerf.

99. Les grandes différences que les fers présentent dans leurs qualités, et leurs propriétés, peuvent, dans quelques circonstances, être distinguées à la vue simple par la contexture, le grain, les arêtes des barres, l'oxidation de la surface; mais comme ces caractères sont souvent trompeurs, il faut, lorsqu'on veut avoir des données exactes sur les fers, les essayer. C'est aussi ce que font les négociants, les marchands et les administrateurs intelligents, qui tirent habituellement des fers de différentes forges et de différents pays.

Parmi les moyens-pratiques employés pour juger de la qualité des fers, on en compte cinq dont on doit se servir concurremment: 1° *La vue.* Si la surface est rouillée, et que la rouille soit farineuse, abondante, c'est un caractère de cassant à froid; si elle est dense et fondue, c'est un caractère de fer doux (1); si les arêtes sont gercées, c'est un signe qu'il est brisant à chaud; si la cassure présente des lames, c'est un indice qu'il est cassant à froid.

2° *Essais à froid.* Si, en frappant à faux sur une barre, la pliant, la trouant, ou la laissant tomber, elle se brise, c'est un indice certain que ce fer sera cassant; si, en la pliant, la courbant, elle conserve la position, la forme qu'on lui donne, elle annonce un fer ductile; si elle se redresse, c'est une preuve d'élasticité.

3° *Essais à chaud.* Si le fer ne se laisse pas forger à toutes les températures, s'il éclate, s'il se pulvérise en le forgeant à chaud, c'est un fer de couleur; s'il se brise en le pliant, le tordant et le trouant, c'est une preuve qu'il est brisant à chaud.

4° *Aux acides.* Si la tache est grise, c'est une preuve de carbonisation, c'est un fer dur un peu *aciéré;* si la tache est blanche, c'est un fer mou.

5° *A la trempe.* Si le fer se découvre en le trempant dans l'eau, s'il prend un grain fin, il est *probable* (2) que c'est un fer dur et *aciéreux;*

---

(1) Grignon, Analyse du fer de Bergman, note VI, page 108.

(2) On emploie ici le mot *probable*, parce que Vauquelin a trouvé les mêmes pro-

mais si, indépendamment de ces caractères, il est dur à la lime, s'il raie le verre, s'il entame le fer, on ne peut plus douter qu'il ne soit dur et *aciéreux*.

En général, un fer est bon lorsqu'il se plie, se troue, se tord, se laisse forger, et s'étire bien à chaud, à froid et à toutes les couleurs.

DE L'ACIER.

100. L'acier est un fer qui, refroidi lentement, jouit de toutes les propriétés du fer doux; mais aussi il obtient par la trempe une dureté, à l'aide de laquelle il peut servir à couper les substances les plus dures, et de plus une élasticité qui le rend propre à devenir conservateur et modificateur des forces.

L'acier est d'un gris clair qui approche de celui de la fonte. Il prend un beau poli, il acquiert beaucoup de brillant; sa surface se dresse, s'unit plus également que celle du fer.

On emploie l'acier poli dans la confection d'un grand nombre d'objets d'utilité et d'agréments; on fabrique avec ce métal des gardes d'épée d'une très-grande valeur; découpé en paillettes, il se mêle avec l'or et l'argent dans la broderie.

Sa cassure, avant la trempe, est la même que celle du fer, il est malléable à froid et à chaud, il conserve le pli qu'on lui donne, il a des grains ou du nerf selon qu'il a été forgé à une température plus ou moins élevée; mais par la trempe il prend un grain dont la grosseur ou la finesse dépend de la température qu'il a éprouvée, alors il devient dur, aigre, élastique; il coupe le verre. On peut l'aiguiser, l'amincir en biseau, et en former des instruments tranchants, ce qui le rend précieux pour les ouvrages de coutellerie, pour les armes blanches, et pour un grand nombre d'autres objets. La couleur varie du sombre au brillant. Il perd, en le chauffant, la propriété que lui avait donnée la trempe, et reprend celle du fer ductile.

---

priétés dans un fer arsenié; ainsi, ces premiers caractères devenant insuffisants pour faire distinguer le fer dur, il faut y ajouter ceux qui suivent.

101. On a vu, n° 88, que, d'après les expériences de Musschenbroek, des parallélopipèdes de fer de $\frac{1}{10}$ de pouce du Rhin de diamètre, se rompait sous un poids qui variait entre 610 et 910 liv. : des expériences semblables, faites par le même savant, sur l'acier, lui ont donné les résultats suivants : (1)

Acier mou, a été rompu par	1190 liv.
Idem, moyenne bonté	1240.
Idem, ordinaire	1080.
Acier excellent, fortement trempé	1120.
Idem, trempé comme les rasoirs	1500.
Idem, comme les couteaux	1350.

Ce qui paraîtrait faire croire que l'acier a une résistance plus forte que celle du fer.

L'acier se fond sans addition ; il est plus dilatable que le fer. Chauffé à blanc, il fait jaillir des étincelles rouges; il brûle avec une flamme bleue claire; on ne peut le forger qu'avec beaucoup de précaution, et le souder que très-difficilement, à moins qu'il ne soit ce que l'on nomme acier naturel, encore présente-t-il de grandes difficultés à être forgé lorsqu'il est très *aciéré;* il peut même être placé parmi les fers dits de couleur, dont nous avons parlé dans l'article précédent. Lorsqu'on veut le forger très-chaud, il se brise, s'égraine, et tombe en poussière; chauffé et forgé plusieurs fois, il perd peu-à-peu ses propriétés, et redevient fer doux.

102. Exposé à l'action de l'air, à la température ordinaire, il s'oxide, se rouille, avec le temps, mais moins promptement que le fer. Lorsqu'il a été poli, et qu'on le chauffe, on voit sa surface se colorer en s'oxidant. Cette couleur passe du gris sombre au jaune pâle, de-là au jaune d'or, au cramoisi, au pourpre, au bleu foncé, au bleu clair, au vert de mer. Les acides le dissolvent difficilement; l'acide nitrique y laisse une tache d'autant plus noire qu'il a été plus *aciéré*.

(1) Cours de Physique expérimentale, 2e volume, §. MCXLIV.

Placé dans le voisinage d'un aimant, l'acier est moins influencé par l'action magnétique, que le fer, mais il conserve plus facilement et plus long-temps la vertu qu'il a acquise par influence: c'est pourquoi on l'emploie avec succès dans la construction des aimants artificiels.

Lorsque l'acier a été forgé, refroidi lentement et limé, il est sonore, et les sons qu'il produit sont agréables et harmonieux; il est propre à la confection des instruments de musique; mais lorsqu'il a été trempé il ne rend plus que des sons ternes, voilés, semblables à ceux qu'on retire des instruments fèlés.

Sa densité varie entre 7780 et 7840.

103. Les académiciens français ont déduit, des expériences de Réaumur, de Rinman, de Bergman et des leurs, que l'acier est une combinaison de fer et de carbone; et les analyses qui ont été faites jusqu'à ce jour ne présentent, de plus, qu'un peu de terre que quelques-uns retiennent encore.

TABLEAU des Analyses de quinze variétés d'acier.

LIEUX d'où VIENT L'ACIER.	ESPÈCES D'ACIER.	SUBSTANCES COMBINÉES.			SUBST. ACCIDENT.	QUANTITÉ.	OU SE TROUVENT LES ANALYSES.
		FER.	CARBONE	PHOSPH.			
D'Osterby....	Fondu.	09,94..	0,003..	....	Laitier..	0,003..	Analyse du fer de Bergman; expériences 212, 213, 219, 223, 228, 231. Comme ce célèbre chimiste a conclu la quantité de terre de la combustion de la matière noire qu'il a recueillie dans toutes ses analyses, on ne peut regarder les quantités qu'il indique que comme problématiques.
Idem.........	Forgé..	0,999..	0,001..	....	*Idem*...	....	
De Forsmark..	....	0,995..	0,003..	....	*Idem*...	0,002..	
Anglais.......	....	0,996..	0,002..	....	*Idem*...	0,002..	
Préparé par M.	....	0,996..	0,003..	....	*Idem*...	0,002..	
De Dalie......	....	0,995..	0,003..	....	*Idem*...	0,002..	
D'Husaby.....	....	0,983..	0,009..	....	*Idem*...	0,008..	
De Ramelsdorf.	Fusion.	0,98551	0,00789	0,00345	*Idem*...	0,00315	Journal des mines, n° 25, page 24.
		0,98217	0,00683	0,00827	*Idem*...	0,00273	
		0,98105	0,00789	0,00791	*Idem*...	0,00315	
		0,97597	0,00631	0,01520	*Idem*...	0,00250	
Charenton, départ. du Cher.	Fusion.	0,9100.	0,0200.	0,070..	Les quantités de charbon sont trop considérables pour ne pas croire qu'elles retiennent des terres et du fer.		Registre du Conseil des mines, n° 77.
		0,9250.	0,0150.	0,060..			
		0,9400.	0,0100.	0,045..			
Rives........	Fusion.	0,9900.	0,0070.	Cuivre..	Trace.	....	Ecole-pratique des mines de Moutiers.
				Mangan.	Trace.		

On voit, par ces quinze analyses, dont sept ont été faites par Bergman, et sept par Vauquelin, que les proportions de carbone que les aciers contiennent, varient entre un et vingt millièmes. La moyenne est de sept millièmes; que parmi les substances étrangères, sept contiennent du phosphore dont la proportion varie entre quatre et soixante-dix millièmes; et une trace de cuivre; enfin qu'un très-grand nombre d'aciers de forge retiennent des laitiers qui n'ont pas été complètement enlevés par l'affinage, et que la proportion restée est de deux à huit millièmes.

Quelques-uns de ces aciers contiennent une quantité de carbone assez

considérable, puisque la variété de l'acier de forge de Charenton en contenait vingt millièmes. Cette quantité n'est cependant pas encore aussi grande que celle que l'on a trouvée dans les fontes grises, puisqu'elle est de trente-trois millièmes.

Comme les principales propriétés de l'acier peuvent être attribuées au graphite qu'il contient, et que les proportions de cette substance combinée diffèrent aussi considérablement, cette variété de fers doit nécessairement présenter de grandes différences, puisqu'il y en a quelques-unes qui contiennent cinq à six fois plus de graphite que d'autres.

D'après les expériences de Mushet (1), le fer augmente de dureté à mesure qu'il se combine avec du carbone, et cela, jusqu'à ce qu'il en contienne 0,016 de son poids; alors sa dureté est au maximum, et elle diminue lorsque ce combustible se combine en plus grande proportion.

Les quantités de carbone, dans les divers aciers, sont, d'après le métallurgiste anglais,

Acier fondu mou.................................0,008.
Acier fondu ordinaire...........................0,010.
Acier fondu dur.................................0,011.
Acier fondu plus dur............................0,020.

104. Les aciers de Styrie, de Carinthie, plusieurs aciers d'Allemagne, un grand nombre d'aciers de France se fabriquant avec des mines manganésifères, Gazeran (2), et plusieurs métallurgistes, sont persuadés que le manganèse est nécessaire à la composition d'un bon acier. Ce directeur de verrerie va même jusqu'à supposer que l'acier naturel d'Allemagne contient, proportion moyenne : 0,0216 de manganèse, 0,9684 de fer, et 0,0100 de carbone. Il rapporte que Berthollet, en parlant de l'acier naturel, dit : « Que la petite quantité de manganèse qu'on avait trou-

(1) Philosophique Magasin, XIII — 142.

(2) Annales de Chimie, 36e volume, pages 61 et suivantes.

« vée dans un acier d'Allemagne, de bonne qualité, était un objet inté-
« ressant qui exigeait des recherches plus exactes. »

Or, dans les quinze analyses que nous venons de rapporter, si l'on en ôte d'abord les sept de Bergman, sur lesquelles on est convenu de regarder l'évaluation de manganèse comme inexacte (1), on voit que dans les huit qui restent, les sept faites par Vauquelin ne donnent aucun indice de manganèse, quoique ce savant ait recherché cette substance avec tout le soin (2) et toute la sagacité qu'on lui connaît, et qu'une seule analyse, faite sur un acier de Rives, a donné une simple trace de ce métal; enfin, à la suite de l'extrait d'un mémoire de Vauquelin (3), on lit: « Il (Vauquelin) n'a pas encore eu occasion de faire l'application de cette « méthode (de séparer le manganèse) sur un grand nombre d'aciers, de « fers ou de fontes. Ceux qu'il a essayés jusqu'à présent ne lui ont offert « *aucune trace de manganèse*, d'où il présume fortement que Bergman, « qui en a trouvé dans tous les fers, fontes et aciers, a souvent pris du « fer pour du manganèse, sur-tout quand il a annoncé en avoir trouvé « trente pour cent. »

Il nous suffit, dans cette circonstance, d'avoir fait connaître que le manganèse n'est pas nécessaire à la nature et aux propriétés de l'acier, et qu'il existe beaucoup de ceux-ci qui ne contiennent pas de ce métal. Nous examinerons plus en détail l'influence du manganèse dans la fabrication de l'acier, lorsque nous détaillerons les différents procédés à l'aide desquels on obtient cette variété de fers.

On divise ordinairement les différentes sortes d'aciers en trois sous-variétés, qui sont prises dans les trois manières de l'obtenir : acier de *forge*, acier de *cémentation*, acier *fondu*.

---

(1) Vauquelin. Journal des Mines, nº 25, pages 30 et suivantes.

(2) Journal des Mines, nº 25, pages 13 et suivantes.

(3) Annales de Chimie, 22ᵉ volume, page 13.

De l'Acier de fusion ou de forge.

105. On appelle acier de *fusion*, acier *brut*, acier de *forge*, acier *naturel*, celui qu'on obtient dans un fourneau d'affinerie, soit en y traitant de la fonte de fer, soit en y traitant du minéral. Cet acier, quoique le plus impur, le plus inégal, le plus variable des trois sous-variétés, a pourtant des propriétés, des qualités qui, jointes au bas prix auquel on peut l'obtenir, lui donne, dans beaucoup de circonstances, un avantage assez considérable sur les autres. La qualité la plus importante est de se souder facilement, et de servir à la fabrication des instruments aratoires.

Il présente, dans sa cassure, des grains inégaux; quelquefois même du nerf; sa couleur est communément bleuâtre. On remarque quelquefois, au milieu de sa cassure, une tache jaune, orangée et bleue, à laquelle on donne le nom de *rose*, et les barres qui la contiennent portent le nom d'*acier à la rose*.

L'acier de cette sous-variété se laisse assez bien forger, il supporte une haute température à la trempe, se détériore difficilement à la forge, et passe à l'état de fer moins facilement que les autres; souvent il est livré au commerce, après avoir été tiré en barres, puis trempé, et cassé par morceaux (1).

Dans plusieurs circonstances, on sépare les morceaux, on les assemble, en les distinguant les uns des autres par la nature de leur grain et la quantité de nerfs dont ils sont mêlés; on reforge ensemble des aciers semblables, ou différents; et étant ainsi reforgés, travaillés et affinés de nouveau, ils sont versés dans le commerce, où ils ont une plus grande valeur. On leur imprime des marques qui indiquent leurs qualités et leurs usages.

---

(1) M. Gillet-Laumont, membre du Conseil des Mines, observe que l'on se contente, dans les Pyrénées, de jeter les barres froides dans l'eau, pour qu'elles deviennent cassantes; qu'ensuite on les casse pour assortir les qualités.

106. Celui des aciers de fusion, qu'on peut regarder comme le meilleur, doit, d'après Tiemann, avoir la plus grande densité, prendre la plus grande dureté, en se refroidissant dans un liquide; supporter, après la trempe, les plus grands chocs sans se casser; il faut aussi qu'il puisse être chauffé au degré de chaleur le plus élevé, avant de changer de couleur. Il doit montrer dans sa cassure un grain très-fin et très-égal, lorsqu'il a été peu chauffé; se bien laisser forger, et se souder facilement, sans se casser ni se fendre; enfin, supporter le plus long feu possible, se laisser forger le plus long-temps, et le plus grand nombre de fois, sans se détériorer.

Nous devons le dire, tous les aciers sont bons, quel que soit leur degré d'*aciération*, si l'espèce de minéral, de fonte ou de fer qu'on emploie pour l'obtenir sont d'une bonne qualité; la seule attention que doivent y mettre les fabricants et les ouvriers, c'est d'employer chaque échantillon d'acier à l'usage auquel il est le plus propre. Si l'on employait de l'acier dur à la fabrication des ressorts, ils casseraient, et seraient réputés mauvais; il faut, pour cet usage, une étoffe, un mélange de fer et d'acier. Si l'on employait de l'acier tendre et ferreux à la fabrication des rasoirs et des burins, ils plieraient et ne couperaient point.

De l'Acier cémenté.

107. L'acier cémenté s'obtient avec du fer pur que l'on combine avec du carbone à une haute température. Comme on est maître, en cémentant le fer plus ou moins long-temps, à des températures différentes, de faire combiner, avec ce métal, des proportions de carbone plus ou moins grandes, il en résulte qu'on peut obtenir des aciers de cémentation extrêmement variés; mais aussi chacun de ces aciers a des usages différents: les uns ne sont cémentés qu'une fois, les autres deux.

En sortant des caisses à cémenter, le fer prend le nom d'*acier poule*, à causes des nombreuses empoules qui couvrent sa surface, et qui sont occasionnées, d'après les académiciens français, par l'acide carbonique que forme, pendant la cémentation, l'oxigène du fer avec le carbone qui

le pénètre. Cette variété offre un acier dur, cassant, et qui ne peut être travaillé qu'après avoir été forgé ; sa cassure est lamelleuse, et les lames varient de forme et de couleur, du centre à la circonférence, relativement à la quantité de carbone qui a pénétré dans chaque barre successive.

108. En général, après la trempe, la cassure de cet acier présente un grain plus égal et plus fin que celui de l'acier de fusion; rarement il laisse voir du nerf; l'acier de cémentation se casse net, il ne montre ni rebords, ni taches noires dans son intérieur ; on ne distingue ni veines, ni gerçures. La couleur de la cassure est grise tirant sur le bleu.

L'acier de cémentation se laisse forger et souder plus difficilement que l'acier de forge ; il exige plus de soin, il perd de sa dureté en le travaillant, il la communique en partie à l'acier moins carboné ou au fer avec lequel on le soude.

Sa qualité diminue chaque fois qu'on le met au feu. Il redevient fer doux après avoir été forgé un nombre de fois plus ou moins grand ; il participe généralement des bonnes et mauvaises qualités du fer avec lequel on l'a obtenu.

On peut et l'on doit tremper l'acier de cémentation à une température moins élevée que l'acier de fusion, si l'on veut lui conserver les formes qu'on lui a données avant la trempe. Il acquiert, par ce moyen, un grain plus fin, une cassure plus matte; il se colore plus facilement en bleu, par l'action de l'air, en le chauffant.

109. Le meilleur acier cémenté, d'après Tiemann, doit être extrêmement pur et blanc, ne montrer ni bords ni taches noires après la trempe; sa couleur doit être plus blanche et plus fine que celle de l'acier de fusion, enfin, il doit exiger, pour être trempé, une très-faible température.

De l'Acier fondu.

110. On appelle acier fondu, celui que l'on obtient en liquéfiant les matières qui le produisent, en coulant cette fonte dans des moules, et la forgeant ensuite.

L'acier fondu est le plus beau, le plus égal, le plus plein et le plus homogène des trois espèces que l'on connaisse; il est versé dans le commerce sous deux états: 1° tel qu'il sort de la fonte; 2° après avoir été forgé. Le premier peut être appelé *acier fondu brut;* le second *acier fondu forgé.*

L'acier fondu brut conserve encore l'empreinte des moules cylindriques dans lesquels il a été coulé; il ressemble, par sa texture, à une belle fonte grise bien épurée. Sa cassure est compacte et plane, son grain est fin, homogène, sa couleur est d'un ton gris blanchâtre; il est difficile à forger, il exige beaucoup de soin; pour y parvenir, il faut l'amener à une chaleur douce qui lui permette de supporter le marteau. Ce n'est qu'après avoir été travaillé qu'il peut être facilement forgé et soudé, sans cependant pouvoir supporter une chaleur trop grande. Il prend ordinairement le nom d'*acier Marschall.*

L'acier fondu et forgé se tire en barres carrées de différentes grosseurs, mais généralement peu épaisses; celui-ci se laisse mieux forger, travailler et souder que le premier: il est connu sous le nom d'acier *Huntzman.*

111. Les aciers fondus et forgés se trempent à une température inférieure à celle des autres. Ils prennent aussi un grain égal, uniforme et fin. Leur cassure est parfaitement pleine.

Avant d'être trempés, ces aciers se travaillent à la lime sans la moindre trace d'inégalité ni de grain dur, comme on en rencontre souvent dans les autres aciers.

Trempé, l'acier fondu prend un beau poli. On peut lui donner un tranchant d'une grande finesse, qui offre beaucoup de dureté sans aigreur.

Lorsque le poli est exécuté avec soin, il ne laisse apercevoir ni points, ni lignes, ni teintes différentes de celles du fond, comme on en remarque sur la surface polie des autres aciers, particulièrement sur celle des aciers de fusion, ou mieux sur les étoffes.

Quoique la nature du grain, que l'acier acquiert par la trempe, soit ordinairement le caractère auquel on se rapporte pour établir une distinction entre eux, il est bon de n'y pas attacher trop d'importance, parce qu'on est toujours maître de faire varier le grain, soit par la grosseur de la barre, soit par la température à laquelle on la trempe. En

général, une barre moins grosse, une trempe moins chaude, donnent un grain plus fin. Ce que l'on doit principalement observer dans la cassure, c'est l'égalité ou l'inégalité du grain, d'où l'on peut juger de la bonté de l'acier par son homogénéité ou son hétérogénéité.

112. MM. Poncelet frères ont obtenu à Liège, depuis la fin de l'année 1807, des aciers fondus d'une très-bonne qualité. Ils en ont envoyé plusieurs échantillons au ministre, au conseil des mines, et à la société d'encouragement.

Ces aciers, essayés de diverses manières par des artistes intelligents, ont été jugés, dans beaucoup de circonstances, égaux aux aciers anglais, et capables de les remplacer avantageusement. Ils ont pris un très-beau poli qui ne le cédait en rien aux meilleurs aciers connus.

Ces aciers ont concouru, en 1809, avec ceux d'un fabricant suisse, pour un prix de 4,000 francs, proposé, en 1807, par la société d'encouragement. Les frères Poncelet ont reçu une médaille d'or du prix de 400 francs, comme un témoignage de la satisfaction que la société a éprouvée, et le prix a été remis de nouveau pour être jugé en 1811. M. Gillet-Laumont, membre du conseil des mines, a publié, sur ces aciers, un excellent rapport qui a été inséré dans le n° 151 du journal des Mines.

Les aciers fondus des frères Poncelet, dans lesquels se trouve une variété qui peut être soudée avec une très-grande facilité, sont vendus concurremment, dans le commerce, avec les aciers anglais.

113. L'acier du commerce se distingue d'après les lieux où il a été fabriqué ou vendu. Il se divise en trois classes par rapport à ses variétés; 1° l'acier fondu qui se divise en quatre sous-variétés; acier *Marschall*, acier *Huntzman*, acier *Poncelet*, et acier *Suisse*.

2° Acier cémenté, que l'on divise en cinq sous-variétés : 1° à *boule*, c'est un acier cémenté de Newcastle, forgé en barres de trois pouces de large et six lignes d'épaisseur : il est très-carburé; 2° l'acier *Brunck*, fabriqué en Suède, et livré au commerce dans des caisses de six livres, poids de comestibles; 3° acier *en boîte*, pour imiter le mode d'emballage de Milan; 4° acier *cémenté deux fois*; 5° acier *forgé*.

3° Acier de forge que l'on sous-divise en six sous-variétés : 1° l'acier de

Styrie : il est ordinairement en caisse de deux à trois pieds de long; 2° acier d'*Allemagne*, les barres sont marquées d'une ancre ou de sept étoiles arrangées en cercle; 3° en acier dit de *Cologne*, il est forgé en barreaux de trois pouces de long, un pouce de large et six lignes d'épaisseur : on le transporte dans des tonneaux; 4° acier de *Solingen ;* 5° acier *Hongrois:* il est forgé en barreaux de différentes grosseurs, dont la plus générale est d'un pouce carré. Quatre à six barreaux sont réunis et liés en bottes avec du fer, et timbrés d'une feuille de chêne; 6° acier de *France*, qui se fabrique dans l'ancien pays de Foix, dans les Pyrénées, à Rives, dans l'ancien Nivernois; il est ordinairement en morceaux de six à huit pouces de long, ayant un pouce carré de grosseur, renfermé dans un ballot : celui du Nivernois est marqué d'une N.

On pourrait distinguer les aciers de forge relativement à leurs usages, en aciers ferreux pour les instruments aratoires, les ressorts de voitures, les couteaux, les baguettes de fusil, etc.; — acier un peu homogène, de moyenne dureté, pour les ressorts de fusil et l'horlogerie, pour la coutellerie, les armes blanches, etc.; — acier plus fort et plus homogène pour des outils, des ciseaux de tondeurs de draps, pour la coutellerie de choix, etc.; — enfin, acier plus dur et très-homogène pour les instruments soignés de la coutellerie fine, pour des objets qui exigent un beau poli.

En général, les aciers de forge sont versés *dans le commerce*, en paquets, en barils, en barres de grosseurs différentes. On leur donne des noms qui dépendent du mode d'emballage, de la grosseur des barres et des marques qu'on leur imprime. Chaque nation lui donne des noms différents, et ces noms varient même d'une ville à une autre.

Nous avons cru inutile d'indiquer ici les moyens de reconnaître et de distinguer les diverses qualités des aciers, parce que nous nous proposons de traiter cette question avec beaucoup de détails dans un article séparé, qui fera suite à la description des différents procédés employés pour obtenir chaque espèce d'acier.

DEUXIÈME PARTIE.

DES SUBSTANCES DONT ON OBTIENT LE FER.

DES MINÉRAIS DE FER.

114. On appelle *minérais* les roches, les pierres, les mottes, les terres qui contiennent des substances métalliques; cette dénomination vient, d'après *Vossius*, de l'allemand *mine*.

Les minérais de fer sont généralement des oxidules, ou des oxides de fer, mélangés ou combinés avec des terres, des combustibles ou des métaux. Ils sont divisés en plusieurs espèces, soit d'après l'aspect sous lequel ils paraissent, soit d'après leurs propriétés physiques, soit enfin d'après la nature et la proportion des substances qui sont mélangées ou combinées avec ces oxides.

115. Pour reconnaître les minéraux, pour les distinguer les uns des autres, il faut les diviser, les ordonner, les classer, les nommer, les décrire. On divise ordinairement le règne minéral en *classes*, les classes en *genres*, les genres en *espèces*, et les espèces en *variétés*. L'ordre, la classification, et souvent même la dénomination varient relativement au but que s'est proposé celui qui a ordonné.

Le minéralogiste doit établir sa division de manière à faciliter la connaissance de toutes les productions du règne minéral, à lier entre elles les substances qui ont de l'analogie, à séparer celles qui ont des différences sensibles; à faire connaître les objets en eux-mêmes et par comparaison avec les autres. Il faut que cette division soit tellement favorable à l'enseignement, que celui qui l'a étudiée puisse, à l'inspection et au toucher d'un échantillon (1), indiquer sa classe, son genre, son espèce,

(1) Brochant, Traité élémentaire de Minéralogie, 1er volume, page 26.

sa variété, enfin faire connaître le nom qui lui a été donné. Le minéralogiste doit donc, pour parvenir à ce but, faire usage de tous les caractères qui peuvent faire distinguer les minéraux.

Le chimiste et le docimasiste ne considérant les productions du règne minéral que relativement à la nature, aux proportions, à l'agrégation, aux affinités, à l'action chimique des matières qui les composent, doivent les classer à l'aide des caractères qui se déduisent des expériences, des opérations auxquelles ils les soumettent.

Le *minéralurgiste* et le métallurgiste ne voient, dans les fossiles, que des composés dont ils doivent séparer diverses substances; ils ne distinguent les minéraux que relativement aux produits utiles qu'ils peuvent et qu'ils doivent en retirer, et, pour eux, le nom principal du fossile est celui de la substance qu'ils en séparent, ou qu'ils desirent en séparer.

Ces trois manières de considérer les productions du règne minéral ont dû faire naître, parmi les savants qui s'occupent de l'enseignement de cette science, des systèmes différents, selon le but qu'ils se proposaient et la facilité qu'ils ont eue d'appliquer à la recherche des propriétés des minéraux, des connaissances mathématiques, physiques, chimiques ou minéralurgiques.

116. Les minéralogistes s'accordent aujourd'hui à diviser le règne minéral en quatre grandes classes, 1° substances *acidifères*, ou salines; 2° substances *terreuses;* 3° substances *combustibles;* 4° substances *métalliques.* Cette division peut, sans inconvénient, être également adoptée par le chimiste et le minéralurgiste.

Les minéralogistes s'accordent encore à former les genres de la substance qui domine dans le minéral. Ils forment autant de genres qu'il y a d'alkalis, de terres, de combustibles et de métaux. Quelques-uns établissent cette distinction, que *chaque genre ne renferme que des minéraux qui ont pour principe prédominant, ou tout au moins pour principe caractéristique, celui dont le genre porte le nom.* A cette dernière distinction près (le principe caractéristique), le chimiste pourrait adopter le genre des minéralogistes; mais le métallurgiste *composant ses genres*

des substances qu'il se propose de retirer, se trouve obligé de les intervertir. Ainsi, un oxide de fer qui contient 0,550 de fer, 0,360 d'oxigène, d'acide carbonique et d'eau, 0,149 de terres, 0,001 d'or ; une pyrite de fer qui contient 0,5497 de soufre, 0,4493 de fer, 0,0005 d'or, sont placés, par le métallurgiste, dans le genre *or;* tandis qu'ils le seraient dans le genre *fer,* par le minéralogiste et par le chimiste.

Quant à l'espèce, il paraît qu'elle n'est pas encore parfaitement déterminée. Les deux plus célèbres minéralogistes de ce siècle, Haüy et Werner (1), la déduisent de principes différents. Haüy (2) définit *l'espèce,* en minéralogie, *une collection de corps dont les molécules intégrantes sont semblables et composées des mêmes éléments,* réunis en même proportion (3).

Il divise les caractères relativement aux branches de connaissances qui les fournissent; il les distingue en *caractères physiques, géométriques* et *chimiques.* C'est de l'ensemble de ces trois ordres de caractères qu'est formé celui qu'il appelle *spécifique,* c'est-à-dire, le caractère qui sert à distinguer tous les êtres compris dans une même espèce. Pour obvier à l'inconvénient que présente un tableau chargé de caractères, il fait précéder ceux-ci d'un caractère simple qu'il nomme *essentiel,* et qui suffit pour faire reconnaître cette espèce, et la séparer de toutes les autres, lorsqu'il est susceptible de se manifester; enfin, pour empêcher de confondre des espèces qui ont beaucoup d'analogie, à la suite du caractère spécifique, il en donne un autre qu'il appelle *distinctif.*

---

(1) Toutes les citations que nous ferons des systêmes de ces deux savants, seront prises; celle d'Haüy, dans son excellent Traité de Minéralogie (publié par le Conseil des Mines en 1801, et qui se vend chez Louis, rue de Savoie, à Paris), celle de Werner, dans un ouvrage très-estimé, et dont les minéralogistes allemands, et Werner lui-même, font un grand cas : c'est le Traité élémentaire de Minéralogie, suivant les principes de Werner, rédigé par l'ingénieur en chef des Mines, Brochant, imprimé à Paris, en l'an IX. Il se vend chez Villiers, libraire, rue des Mathurins, à Paris.

(2) Traité de Minéralogie, tome 1er, page 162.

(3) *Idem,* pages 202 et suivantes.

Werner (1) pensait, avec tous les chimistes, que les minéraux qui diffèrent essentiellement les uns des autres, dans leurs compositions chimiques, doivent former des espèces particulières, et que ceux, au contraire, dont la composition chimique ne diffère pas essentiellement, appartiennent à la même espèce.

D'après ces deux définitions de l'espèce, il s'ensuit que l'arragonite doit, d'après Haüy, en former une qui soit différente de la chaux carbonatée ordinaire, puisque les caractères physiques et géométriques ne sont pas les mêmes. Les diverses propriétés qui se déduisent de la dureté, de la pesanteur spécifique, de la réfraction, de l'action de la chaleur, se joint au contraste que présentent les formes, pour en faire une espèce particulière. Aussi, conformément à ses principes, Haüy aurait pu en former une espèce nouvelle, mais il a préféré, dans la première édition de sa Minéralogie, de la ranger parmi les substances qui ne sont pas encore assez connues (2). L'arragonite devrait, d'après Werner, ne former qu'une seule espèce avec le *kalkstein*, puisqu'il a les mêmes composants. Cependant l'illustre professeur de *Freyberg* a cru devoir le *séparer;* il en a formé une espèce particulière sous le nom d'arragonite (3).

117. Le genre fer est divisé par Haüy en neuf espèces (4), fer oxidulé, fer oligiste, fer arsenical, fer sulfuré, fer carburé, fer oxidé, fer azuré, fer sulfaté, fer chromaté (5).

---

(1) Traité élémentaire de Minéralogie, tome 1er, page 47.

(2) Enhardi par les discussions que cette chaux carbonatée a fait naître, ce savant s'est déterminé à en faire une substance nouvelle et distincte; il l'a placée, dans le tableau comparatif des résultats de la Cristallographie et de l'analyse, publié en 1809, comme formant la seconde espèce du même ordre de substances acidifères.

(3) Traité élémentaire de Minéralogie, tome 1er, page 576.

(4) Traité de Minéralogie, tome 4, pages 1 et suivantes.

(5) Dans son tableau comparatif des résultats de la Cristallographie et de l'analyse chimique, Haüy, a divisé le genre fer en dix espèces : fer natif, fer oxidulé, fer oligiste, fer arsenical, fer fulfuré, fer oxidé, fer phosphaté, fer chromaté, fer arséniaté, fer sulfaté.

Le genre fer est divisé par Werner en quatorze espèces (1): le fer natif, la pyrite sulfureuse, la pyrite magnétique, la mine de fer magnétique, le fer spéculaire, la mine de fer rouge, la mine de fer brune, la mine de fer spathique, la mine de fer noire, la mine de fer de gazon, le fer terreux bleu, le fer terreux vert, l'*éméril.*

Nous ne nous proposons pas de discuter, dans cet ouvrage, laquelle de ces deux divisions est la plus avantageuse pour étudier, connaître et distinguer les minérais de fer. Des hommes qui ont acquis une si grande et une si juste célébrité en minéralogie, doivent avoir été conduits par de puissants motifs, lorsqu'ils ont adopté les divisions qu'ils proposent, et dont chacune d'elles doit trouver des défenseurs parmi les savants. Il est juste et naturel que les minéralogistes qui ont étudié sous ces deux grands maîtres, préfèrent à tout autre, le système qui leur a été enseigné, et, comme Werner et Haüy comptent, parmi leurs élèves, des hommes qui jouissent déja d'une réputation distinguée, on peut et l'on doit s'attendre à une sorte d'opposition, lorsque l'on voudra, avec des raisons bonnes en apparence, attaquer l'un ou l'autre, ou à un silence absolu lorsque les raisons ne mériteront pas de discussion. Avant de prendre un parti entre ces deux méthodes, il faut les avoir étudiées avec un esprit libre et dégagé de toutes affections particulières; avoir appris de leurs illustres auteurs les principes qui les ont guidés dans les routes différentes qu'ils ont suivies; il faut avoir comparé, sous divers rapports, les avantages qu'elles présentent; avoir une intelligence qui puisse égaler, au moins, le génie du juge à celui des hommes dont il discute les principes; et enfin se bien pénétrer de cette pensée sublime :

La critique est aisée, et l'art est difficile.

Aussi, le savant traducteur de Werner, qui professe cette science à l'école-pratique des Mines, avec autant de succès que d'éloquence, dit,

---

(1) Traité élémentaire de Minéralogie, tome 2, pages 214 et suivantes.

avec cette modestie qui caractérise l'homme qui a véritablement des connaissances, « Je ne prétends point adopter aveuglément le principe du professeur de Freyberg, ni m'en établir le défenseur; mais je me garderai bien aussi d'en hazarder légèrement la critique. »

Si la seule discussion des deux méthodes proposées par ces deux célèbres professeurs présente d'aussi grandes difficultés, on doit en éprouver bien davantage lorsque l'on veut, avec l'espérance de quelques succès, en présenter une autre; aussi, ce n'est pas comme minéralogiste ou comme chimiste que nous suivrons, dans cet ouvrage, des principes différents de ceux qu'ils ont posés; mais, comme nous nous proposons un but qui n'est pas semblable au leur, nous sommes obligés, quoiqu'avec regret, de nous écarter de la route qu'ils ont tracée (quoiqu'elle ait été suivie jusqu'à présent avec succès), pour nous en frayer une nouvelle qui nous a paru offrir quelques avantages.

118. Les deux savants minéralogistes font entrer dans le genre fer des espèces que le métallurgiste doit en séparer, parce qu'elles ne peuvent pas être traitées avec avantage, avec bénéfice, pour en retirer ce métal; il en est même que l'on doit écarter avec soin, parce qu'elles seraient nuisibles, et qu'elles altéreraient la qualité du fer que l'on obtiendrait.

Parmi ces espèces, on trouve, dans le genre fer d'Haüy, le fer arsenical, le fer sulfuré, le fer carburé, le fer azuré, le fer sulfaté et le fer chromaté, que le métallurgiste doit exclure; et, dans le genre fer de Werner, le fer natif, le fer pyriteux, la pyrite magnétique, le fer terreux blanc, le fer terreux vert, et l'émeril. Dans ces espèces, le fer arsénical, les pyrites, les sulfates nuiraient à la qualité du fer; les autres ne pourraient pas être traitées avec bénéfice.

Il n'existe donc, dans le genre fer d'Haüy, que trois espèces que le métallurgiste puisse conserver: le fer oxidulé, le fer oligiste, et le fer oxidé; et, dans le genre de Werner, sept: le fer magnétique, le fer spéculaire, la mine de fer rouge, la mine de fer brune, le fer spathique, le fer noir, le fer argilleux, le fer limoneux.

En comparant les espèces, existantes dans le genre fer, des deux

célèbres professeurs de minéralogie, et que le métallurgiste peut conserver, on trouve d'abord, dans Haüy, les espèces *oxidulé* et *oligiste*, qui répondent à celles *magnétique* et *spéculaire* de Werner. Haüy a dû, conformément à son principe, séparer ces deux espèces, parce qu'elles ont des formes primitives et des molécules intégrantes qui ne sont pas les mêmes; mais, comme il n'existait aucune analyse qui indiquât, dans ces deux espèces, que la composition ne fût pas la même (1), il semblerait qu'à l'époque où Werner les a séparées, ce savant aurait dû les laisser réunies. Car nous ne croyons pas que ce soit la différence de proportion inexacte de fer, indiquée par Swedemborg, qui suppose que le fer magnétique rend de 80 à 90 pour cent, tandis que le fer spéculaire ne produit que 60 à 80 pour cent, qui ait pu déterminer le professeur de Freyberg. Werner connaît trop bien les produits des mines de fer, pour avoir adopté ces indications, et les avoir employées à distinguer ces deux espèces.

Haüy a réuni, dans une seule espèce, plusieurs variétés dont Werner forme des espèces différentes. Ainsi, il comprend, sous l'espèce fer oxidé, des minérais dont Werner forme cinq espèces : la mine de fer rouge, la mine de fer brune, le fer noir, le fer argilleux et le fer limoneux. Il paraît que, dans cette réunion et cette division, Haüy a encore été conséquent, et qu'il a formé son espèce conformément à ses principes. Quand à la division de Werner, comme elle peut être, relativement au principe qu'il a adopté, attaquée et défendue avec un égal succès, nous nous abstiendrons de la discuter.

Haüy avait d'abord retranché du genre fer une espèce que Werner y a conservée, le *fer spathique;* il paraît qu'en ceci ils ont agi l'un et l'autre conformément aux principes qu'ils ont posés. Le fer spathique contient ordinairement de 0,12 à 0,37 de fer combiné avec de l'oxigène, de l'acide

---

(1) Les deux espèces, *oxidé* et *oligiste*, sont des oxidules de fer. Lavoisier, Proust, et un grand nombre de chimistes, considèrent ces oxidules comme contenant une proportion constante d'oxigène. Mais nous nous sommes assurés qu'elles diffèrent entre elles par une proportion différente de cette substance, plus grande dans le fer oligiste que dans le fer oxidulé.

carbonique, du manganèse, de l'eau et des terres; Werner devait donc, d'après les analyses qu'il connaissait, et en particulier, d'après son emploi dans les hauts fourneaux, en former une des espèces du genre fer. Haüy considérant qu'un grand nombre de morceaux de chaux carbonatée contiennent du fer, que la proportion de ce métal est très-variable, que celle qui avait été analysée jusqu'alors contenait entre 0,04 et 0,37 de fer, que, d'ailleurs, on ne connaissait pas de limites entre ces deux termes; qu'enfin l'analyse de ce minéral, donnée par Bergman, portait à croire qu'il contenait: carbonate de chaux 0,38, oxide de fer 0,38, oxide manganèse 0,24; ce savant indécis s'il devait le mettre parmi la chaux carbonatée, ou les oxides de fer, s'est enfin décidé par sa forme cristalline, qui est exactement celle de la chaux carbonatée; tous ces faits devaient faire croire que c'était à cette dernière substance que l'on devait rapporter cette espèce; d'après cela, il était naturel qu'il classât le fer spathique avec la chaux sous le nom de *chaux carbonatée férifère*. Ce n'est que récemment, et depuis que des expériences ont été faites avec beaucoup de soin au laboratoire de l'école-pratique des Mines de Moutiers, qu'on a prouvé qu'il pouvait exister du fer spathique sans traces sensibles de chaux; ce n'est que depuis que ces expériences ont été répétées avec profusion par plusieurs chimistes, et que l'on s'est assuré d'ailleurs que Bayen et Bucholz avaient déjà reconnu qu'il existait des fers spathiques qui ne contenaient pas sensiblement de chaux, que le célèbre minéralogiste François, cet ami sincère de la vérité, s'est déterminé à placer ce minéral, mais seulement par appendice, parmi les fers oxidés, sous le nom provisoire de *fer oxidé carbonaté* (1). Au reste, quand il y aurait encore de l'indétermination entre les minéralogistes sur le genre auquel appartiendrait ce minéral, il n'y en aurait aucune pour le métallurgiste, qui le traite pour en retirer du fer.

119. Nous avons dit précédemment que le genre, pour le métallurgiste, se formait de la substance qu'il se proposait de retirer; consé-

---

(1) Tableau comparatif, etc., page 99.

quemment, tous les minérais dont on peut retirer en grand, avec bénéfice, du fer d'une bonne qualité, et que l'on traite ordinairement pour cet objet, doivent composer le genre fer; quant à l'espèce, elle doit se former de tous les minérais qui ont un état de composition semblable, et qui exigent à-peu-près les mêmes procédés pour produire du fer; en conséquence de ce principe qui diffère de celui des minéralogistes, le genre fer sera divisé en trois espèces : 1° fer *oxidulé* ou *métalloïde;* 2° fer *carbonaté* ou *spathique;* 3° fer *oxidé.* Nous ferons connaître, en traitant de chacune de ces espèces, les raisons qui nous ont déterminé à les adopter.

DU FER OXIDULÉ OU MÉTALLOÏDE.

120. Nous avons réuni ici, en une seule, les deux espèces d'Haüy, connues sous le nom de fer oxidulé et de fer oligiste, qui sont les mêmes que les deux espèces de Werner, connues également sous le nom de fer magnétique et de fer spéculaire; parce que ces minerais sont dans un état particulier et distinct de tous les autres; ils sont sous l'état d'*oxidule;* leur éclat métallique les fait reconnaître à la vue simple. Toutes les analyses faites jusqu'à présent ne nous indiquent, dans la composition de ces minérais, qu'une petite différence dans la proportion de l'oxigène, et ils peuvent être traités de la même manière et avec un égal succès. On a essayé, à l'école pratique de Moutiers, un grand nombre d'oxidules par les acides muriatique et sulfurique étendus d'eau, tous ont été pulvérisés et porphyrisés avant d'être soumis à l'action des acides; il ne s'est pas dégagé, dans ces expériences, une seule bule de gaz hydrogène; mais, dans un grand nombre, la dissolution exhalait, en commençant, une légère odeur de ce gaz. Cette odeur, que Vauquelin avait remarquée aussi, se fit également ressentir, en traitant de la même manière, des écailles tombées des bandes de fer rouge qu'on laminait dans la manufacture d'ancres de Cône; ainsi que du fer oxidé par l'eau, obtenu dans une expérience faite par Guyton, pour retirer le gaz hydrogène, employé à remplir des ballons, en faisant passer de l'eau sur des morceaux de fer rouge.

Les analyses qui ont été faites jusqu'à-présent de ces sortes de minérais, donnent les produits ci-joints.

GISSEMENTS.	VARIÉTÉS.	OXIDE de		PERTE PAR LA CALCINATION	SILICE.	CHAUX.	ALUMINE.	FER PAR LA VOIE SÈCHE.	OUVRAGES où sont LES ANALYSES.
		FER.	MANGANÈSE.						
Elbe cap Corse · ·	Cristallisé · ·	0,67 · ·	»	»	0,01 · ·	0,02 · ·	· · · · ·	0,32 · ·	Registre du Conseil des Mines, n° 178, 164.
		0,55 · ·	0,03 · ·	0,024 ·	0,028 ·	0,12 · ·	0,06 · ·	0,36 · ·	
Id. cap Calamite ·	Aimantaire ·	0,924 ·	· · · · ·	0,026 ·	0,026 ·	0,01 · ·	0,014 ·	0,72 · ·	Ecole pratique des Mines, à Moutiers.
Elbe · · · · · · · · · · ·	Ecailleuse · ·	0,88 · ·	· · · · ·	0,020 ·	0,020 ·	0,020 ·	Trace ·	0,68 · ·	
Val-d'Aoste · · · · ·	Amorphe · · ·	0,990 ·	· · · · ·	· · · · ·	0,020 ·	· · · · ·	· · · · ·	0,76 · ·	
Cap Calamite · · · ·	Aimantaire ·	0,694 ·	· · · · ·	0,026 ·	0,084 ·	0,014 ·	0,0520	0,549 ·	
Saint-Quai, près Chatelandren · ·	Arénacé pur.	0,440 ·	0,015 ·	Oxide de titane · · ·			0,54 · ·	0,450 ·	Journal de Physique, vol. 16, n° 91, p. 61.
	Trié au barr ·	0,86 · ·	0,020 ·	Oxide de titane · · ·			0,08 · ·	· · · · ·	
Elbe · · · · · · · · · · ·	Cristallisé · ·	0,950 ·	0,00 · ·	0,20 · ·	0,020 ·	0,001 ·	0,00 · ·	0,720 ·	

Quelques essais de ces minéraux, par la voie sèche, ont donné :

GISSEMENTS.	VARIÉTÉS.	FER.	OUVRAGES OU SONT LES ANALYSES.
Elbe cap Corse · · ·	Cristallisé · · · · · ·	0, 72 · ·	Registre du Conseil des Mines, n° 262—202.
Suède · · · · · · · · · ·	Amorphe · · · · · ·	0, 653 ·	
Sibérie · · · · · · · · ·	Aimant cubique ·	0, 55 · ·	Voyage de Sibérie par Chappe.
	Id. décomposé · ·	0, 54 · ·	
	Spéculaire · · · · · ·	0, 62 · ·	
Val d'Arbonne · · ·	Micacé · · · · · · · ·	0, 65 · ·	École pratique de Moutiers.

Il résulte des analyses qui viennent d'être rapportées, que les minérais oxidulés peuvent contenir du fer, de la silice, de la chaux et de l'alumine; qu'un échantillon de fer de l'île d'Elbe, inscrit sur le registre du Conseil, sous le n° 164, a donné du manganèse, ce qui est assez rare et peut-être extraordinaire; qu'un oxide arenacé, de Saint-Quai, près de Chatelaudren, a donné une assez grande quantité de titane et un peu de manganèse.

Quelquès petites que soient les différences que ces analyses présentent, on peut regarder, en général, les minérais métalloïdes comme des oxidules de fer contenant des proportions différentes d'oxigène, et les terres qui s'y sont rencontrées mélangées, comme accidentelles.

121. Parmi ces oxidules, il en est un très-pur, c'est l'échantillon du Val-d'Aost, qui ne contenait que deux centièmes de substances étrangères, de silice, et celui-là a donné un culot de fer de 0,76.

La variété de fer métalloïde que l'on exploite dans le Val-d'Aost, est l'espèce minéralogique indiquée sous le nom de fer oxidulé par Haüy, et de fer magnétique par Werner; elle cristallise ordinairement en dodécaèdre à plans rhombes; elle a rendu 0,76 avec 0,02 de silice; conséquemment, elle aurait donné 0,775 environ, si elle avait été parfaitement pure : on peut donc croire que cette espèce ne rend pas 90 ni même 80, comme l'a avancé Swedemborg, et comme plusieurs minéralogistes l'ont répété après lui.

Une conséquence que l'on peut tirer de cet essai, c'est que, si l'on pouvait supposer qu'en le fondant, le fer de ce minéral se fût combiné avec 0,006 de carbure, il aurait contenu 0,769 de fer, ce qui répondrait à trente parties d'oxigène sur cent de fer, dans cet oxidule, ainsi qu'il semble qu'on pourrait le conclure de notre discussion sur les oxides obtenus par l'art (1); d'où il résulterait une sorte d'analogie entre les oxidules de la nature et ceux de l'art.

Il existe des fers métalloïdes qui ne rendent que 0,32 de fer, à cause de la grande quantité de substances étrangères qui y sont mélangées. Plusieurs fers métalloïdes sont recouverts de cristaux, de quartz et de pyrite, d'autres sont mélangés de stéatite et de différentes terres. Swedemborg assure qu'il est de ces minérais qui ne rendent quelquefois, dans les hauts fourneaux, que 0,10; 0,20, etc.

122. On trouve ces minérais en couches, en filons, en masses, en blocs, en fragments ou en grains.

(1) Annales de Chimie, tome 69, pages 113 et suivantes.

Ils ont l'éclat métallique du fer, leur couleur varie du gris d'acier au gris noir; leur cassure est inégale; leur structure est grenue, fibreuse et divergente; leur raclure est ou noir-brun, ou noir-rougeâtre.

Ils partagent, à des degrés différents, la propriété magnétique; leur densité varie entre 4,200 et 5,012: pulvérisés et versés dans un flacon plein d'acide muriatique pur, bouché ensuite pour leur ôter le contact de l'air, en suivant la méthode de Proust (1), ils s'y dissolvent lentement; l'hydrogène sulfuré ne trouble pas la dissolution; les alkalis précipitent l'oxide en noir et les prussiates en blanc, ce qui prouve qu'ils ne contiennent que de l'oxidule. Lorsque ces minéraux sont mélangés d'oxides au *maximum*, ce qui arrive assez constamment dans les fers oligistes, la dissolution est troublée par l'hydrogène sulfuré; les alkalis précipitent d'abord de l'oxide rouge, puis de l'oxide noir, et les prussiates précipitent un mélange de prussiates bleu et blanc, qui augmente de couleur à l'air.

Les oxidules de fer peuvent se diviser en trois variétés: 1° *cristallisées; 2° amorphes; 3° arénacées.*

Des Mines de fer métalloïdes cristallisées.

123. Les oxidules de fer cristallisés sont rarement traités et fondus pour en obtenir du fer; si ce n'est lorsque quelques cristaux sont disséminés dans des masses amorphes, comme le dodécaèdre à plans rhombes, que l'on trouve dans le fer oxidulé du Val-d'Aost.

Les cristaux d'oxidules de fer, dont l'étude est si agréable pour le minéralogiste qui parvient à découvrir le moyen que la nature a employée pour produire ces formes si variées, ne présentent aucun intérêt au métallurgiste qui doit les fondre. Nous nous dispenserons donc de nous occuper de cet objet. Les personnes qui voudront être initiées dans ces connaissances, peuvent consulter l'excellent traité de Minéralogie d'Haüy, où la cristallographie est écrite avec autant de précision que d'élégance.

---

(1) Journal de Physique, année 1804, 49e volume, tome 2, page 351.

Des Minérais métalloïdes amorphes.

124. Les fers oxidulés amorphes présentent plusieurs sous-variétés; en minéralogie, on les distingue, d'après leur cassure, en laminaire, grenue, fibreuse, compacte, écailleuse; pour le métallurgiste, il n'existe que deux sous-variétés, les fers oxidulés purs, et les fers oxidulés terreux; cette division est établie d'après l'action des terres dans la fusion. En général, lorsque ces terres sont dans des mélanges et des proportions convenables, les minérais qui contiennent des substances terreuses sont plus faciles à traiter, et donnent une meilleure fonte que ceux qui sont purs. En Suède, où il existe beaucoup de minérais métalloïdes amorphes, on les distingue (1) en fusibles sans addition, difficilement fusibles, et très-fusibles : les premiers sont mélangés d'actinote, de horneblende, de grenat compacte, de jaspe ou silex ferrugineux; les seconds sont mélangés de quartz, de feld-spath, d'asbest; les troisièmes contiennent de la chaux fluatée et du fer sulfuré.

Des Minérais métalloïdes arénacés.

125. Les oxidules de fer arénacés sont très-variables, soit par la nature et la proportion de terres mélangées, soit par les substances qui entrent dans leur composition. Plusieurs de ces sables ferrugineux sont recueillis avec soin et traités aux hauts fourneaux pour en obtenir du fer; quelques-uns sont purs; tel est celui qu'on ramasse sur les bords de la mer à l'isle d'Elbe, et que l'on vend aux maîtres de forges sous le nom de *poulette*. D'autres sont mélangés avec plusieurs substances qui peuvent altérer plus ou moins la bonté du fer que l'on en retire.

Des sables ferrugineux, qui se ramassent à Saint-Quai, près Chatelaudren, ont été recueillis par M. *Gillet Laumond*, membre du Conseil des mines; on lui a assuré que ce minéral donnait, aux hauts fourneaux, 0,50 de fonte, qui produisait du bon fer (2). Ce sable analysé au labo-

(1) De la Fonte de minérais de fer par Garney, 2e partie, chap. 2, sect. 1, 2, 3 et 4.
(2) Journal de Physique, mai, 1786, page 375.

ratoire du Conseil des mines, s'est trouvé contenir 0,44 d'oxide de fer, 0,54 d'oxide de titane, et 0,015 d'oxide de manganèse, et, dans quelques échantillons, une trace de chrome.

Les masses volcaniques désagrégées par le frottement, abandonnent l'oxidule de fer qu'elles contiennent, et, dans quelques endroits, on l'extrait des sables avec lequel il est mélangé, sous forme d'oxidule arénacé. Ce fer volcanique contient ordinairement, d'après les expériences de l'ingénieur en chef Cordier, des proportions de titane plus ou moins grandes (1).

DES MINÉRAIS DE FER SPATHIQUE.

126. Le fer spathique est un fer carbonaté, contenant de l'oxide de manganèse et de la magnésie; quelquefois unis à la chaux, à la silice, qui y sont accidentelles.

De tous les minérais de fer, le spathique et le fer carbonaté sont ceux qui, au premier aspect, ressemblent le moins à une mine de fer; mais, lorsqu'on a été à même de les observer une fois, rarement on s'y trompe. Cependant il existe un grand nombre de chaux carbonatées, qui contiennent un peu de fer et de la magnésie, qui brunissent à l'air comme le fer spathique, et qui pourraient facilement être confondues avec lui; mais un peu d'habitude et des essais par la voie sèche, le font bientôt distinguer.

127. Malgré les analyses exactes faites par Bayen et Sage, plein de confiance dans celles que Bergman a publiées sur ces minérais, on a cru pendant long-temps qu'il était composé de parties égales de chaux carbonatée, d'oxide de fer, et d'un cinquième d'oxide de manganèse.

On regardait la chaux carbonatée comme partie essentielle et caractéristique du fer spathique; on condamnait, en quelque sorte, l'usage où l'on était, dans plusieurs fonderies, d'ajouter de la castine au minérai, lorsqu'on le fondait dans un haut fourneau, comme on le pratique à

(3) Journal des Mines, tome 21, page 249, et tome 13, page 53.

Allevard et dans plusieurs autres usines; mais des analyses faites avec beaucoup de soin dans le laboratoire de l'école pratique des mines de Moutiers, ont convaincu que l'échantillon sur lequel le célèbre chimiste d'Upsal avait établi ses proportions, différait de ceux que l'on traite ordinairement pour en retirer du fer. Depuis, M. Drappier, répétiteur de chimie à l'école polytechnique, s'est assuré que ce minéral contenait de la magnésie, et que souvent la proportion de cette terre formait les 0,12 de la masse.

Un grand nombre d'analyses, dont quelques-unes avaient pour objet de découvrir la manière dont ce minéral se comportait au haut fourneau, et une discussion, entre M. Descotils et nous, sur l'action de la magnésie dans le traitement des minérais de fer, ont mis à même de bien connaître ce minéral. Nous présentons le tableau des principales analyses qui en ont été faites.

TABLEAU de l'Analyse des Échantillons de Minérais de fer spathique.

GISSEMENTS.	VARIÉTÉS.	EAU et ACIDE CARBON.	OXIDE de FER.	OXIDE de MANGANÈSE.	MAGNÉSIE.	SILICE.	CHAUX.	FER PAR LA VOIE SÈCHE.	OUVRAGES où sont LES ANALYSES.
St.-Georges de Hurtière	La couleur était blanche, grise, ou jaunâtre; les échantillons étaient frais, et non altérés.	0,335	0,551	0,080	0,0075	0,016	0,010	.....	Ecole-pratique de Moutiers, département du Mont-Blanc.
Piémont		0,330	0,563	0,022	0,071	0,015	.....	0,413	
Allevard		0,350	0,544	0,028	0,055	.....	.....	0,416	
Idem		0,365	0,487	0,180	0,130	.....	.....	0,365	
Isère, montagne de la Citre		0,375	0,500	0,010	0,210	.....	0,005	0,370	Registre du Cons. des Mines.
Idem de Pagne do Palot		0,340	0,590	0,015	0,056	.....	.....	0,430	
Styrie		0,345	0,620	0,010	0,015	0,01	.....	.....	
Idem		0,330	0,523	0,048	0,044	0,08	.....	.....	
Idem		0,316	0,680	0,035	0,013	.....	.....	.....	
Idem		0,336	0,620	0,044	0,020	0,01	.....	.....	
Allevard		0,365	0,490	0,005	0,110	0,02	.....	.....	Journal des Mines, n° 124.
Idem		0,345	0,520	0,120	0,028	0,01	.....	.....	
Nassau-Siegen		0,345	0,501	0,073	0,032	0,03	0,000	.....	
Baigory		0,370	0,600	0,015	0,040	.....	.....	.....	
Idem		0,340	0,615	0,005	0,038	0,01	.....	.....	
Arriège, la Saraoute		0,310	0,650	0,010	0,018	.....	.....	.....	
Pyrénées orientales		0,345	0,600	0,045	0,015	.....	.....	.....	
Sibérie		0,370	0,520	0,002	0,110	0,02	.....	.....	
Bendorf		0,360	0,490	0,090	0,031	0,01	0,004	.....	
Envoyé par Bergman à Goyton		.....	0,485	0,018	0,019	0,025	0,005	.....	
Dankerode		0,36	0,575	0,035	.....	.....	0,0125	.....	Klaproth. Journal de physique, t. 71, p. 136.
Bairenth		0,35	0,58	0,0425	0,0075	.....	0,005	.....	
Notre-Dame-des-Prés	La couleur était brune, et les échantillons paraissaient décomposés à l'air.	0,120	0,675	0,020	0,010	0,175	.....	.....	Ecole-pratique de Moutiers.
La Valpeline		0,070	0,734	0,076	.....	0,128	.....	.....	
Styrie		0,160	0,660	0,050	0,020	0,01	0,03	.....	Registre du Cons. des Mines.
Alpes		0,140	0,840	0,010	.....	0,01	.....	.....	
Isère, Sainte-Agnès		0,130	0,810	0,020	.....	0,015	0,01	.....	Journal des Mines, n° 124.
Montagne de Raocie		0,085	0,800	0,060	.....	0,025	0,015	.....	
Biscaye		0,070	0,860	0,020	.....	0,030	.....	.....	
Carinthie		0,210	0,720	0,060	.....	.....	0,010	.....	
Sibérie		0,130	0,820	0,010	.....	0,02	0,010	.....	
St.-Georges de Hurtière	Les échantillons étaient grillés depuis long-temps.	On a négligé de calciner avant l'analyse.	0,794	0,138	0,008	0,012	0,040	0,590	Ecole-pratique de Moutiers.
Idem			0,818	0,124	0,006	0,030	0,020	0,580	
Idem			0,810	0,147	.....	0,010	0,033	0,575	
Allevard			0,842	0,115	0,020	.....	0,027	0,593	

Il résulte de cette analyse que les fers spathiques sont composés d'eau, d'acide carbonique, d'oxide de fer, d'oxide de manganèse, de magnésie, et quelquefois de silice et de chaux; on a trouvé quelques indices d'alumine dans deux échantillons qui n'ont pas été rapportés dans ce tableau: l'un, de Claustal au Hartz, analysé par Vauquelin, enregistré au conseil des mines sous le n° 86; l'autre, de Saint-Georges de Hurtière, analysé au laboratoire de l'école-pratique des mines de Moutiers; mais on doit considérer ces trois terres, la silice, la chaux et l'alumine, comme provenant de la gangue, et comme étant dans un simple état de mélange avec le minéral.

128. Une question qui doit intéresser le chimiste et le minéralogiste, c'est de savoir si le fer est à l'état d'oxide ou d'oxidule, dans ce minéral; et si, en calcinant du fer spathique, il ne se dégage que l'eau et l'acide carbonique qui y sont combinés : on pourrait croire que le fer est à l'état d'oxidule, car un échantillon du Piémont, qui a perdu par la calcination 0,350, et qui contient 0,028 d'oxide de manganèse, et 0,055 de magnésie, a produit un culot pesant 0,416, ce qui porterait l'oxide à trente-six d'oxigène sur cent de fer, un peu plus que le terme 30. Mais la calcination est une opération qui présente trop d'inexactitude pour en déduire une conclusion certaine, et, comme le fer, en se fondant, se combine ordinairement avec une quantité de carbone plus ou moins considérable, cette combinaison augmente encore l'incertitude. Cependant, Proust (1) n'hésite pas de regarder le fer, dans cette espèce de minéral, comme étant à l'état d'oxidule : pour nous en assurer nous avons fait dissoudre, dans de l'acide muriatique pur, quatre échantillons de fer spathique, 1° blanc, 2° jaune, 3° brunissant, 4° brun. Nous les avons précipités aussitôt par de l'ammoniaque et par du prussiate de potasse; ils ont produit, par l'ammoniaque, n° 1, un oxidule noir; n° 2, un indice d'oxide rouge et beaucoup d'oxidule noir, n° 3, une plus grande proportion d'oxide rouge; et n° 4, tout oxide rouge.

(1) Journal de Physique, année 1806, tome 2, page 467.

Par le prussiate de potasse, le n° 1 a donné un prussiate blanc, le n° 4 un prussiate bleu, et les deux autres des prussiates plus ou moins bleus; d'où l'on peut conclure que l'oxide est au minimum dans le fer spathique blanc, et qu'à mesure qu'il se décompose, et que son acide carbonique se dégage, le fer s'oxide davantage, et passe à l'état d'oxide rouge.

129. Le minérai de fer spathique est communément en masse compacte ou lamelleuse, quelquefois cristallisé à sa surface en rhomboïdes primitif, équiaxe, inverse; en prisme hexaèdre régulier, lenticulaire, etc. Tout porte à croire que l'on peut rencontrer toutes les variétés de cristaux de fer spathique que présente ordinairement la chaux carbonatée.

La couleur de ce minéral varie du blanc grisâtre au jaune isabelle; quelques échantillons sont bruns ou noirâtres; ces deux sortes de couleurs, grise et brune, existent souvent dans le même morceau, mais leur séparation est nette et tranchée. Lorsque les mines grises sont calcinées, ou seulement exposées pendant un temps plus ou moins considérable à l'action de l'air, elles brunissent, la cassure est matte ou lamelleuse; dans le second cas, les lames sont grandes ou petites, plates ou courbes. Ce minéral est plus ou moins dur; plusieurs échantillons sont faciles à casser.

Sa cassure est d'un blanc grisâtre, ou d'un brun jaunâtre, et sa densité varie entre 3,600 et 4,000.

En comparant ces minérais, relativement à leurs couleurs et à leur analyse, on voit qu'ils peuvent être divisés en deux classes, par rapport à leur variété, l'une grise et l'autre brune.

130. Le fer spathique gris est le fer carbonaté dans son état de pureté, tel qu'il se trouve avant d'avoir subi l'action de l'air ou du feu : dans cet état, il donne, par la calcination, de 0,300 à 370 d'eau et d'acide carbonique; il produit de 0,340 à 0,430 de fer. Il est combiné avec de l'oxide de manganèse et de la magnésie; la proportion de l'oxide varie entre 0,005 à 0,120, et celle de la terre entre 0,0075 à 0,1401.

Le fer spathique gris est, le plus souvent, lamelleux et quelquefois cristallisé.

131. On doit la variété du fer spathique brun à la décomposition du fer carbonaté; sa couleur approchant de celle du foie, lui a fait donner le nom d'*hépatique*, du grec ἧπαρ, *foie;* souvent même on la confond avec une autre mine hépatique qui affecte la même couleur, et qui est évidemment une décomposition de sulfure ou de pyrite de fer; mais, lorsque la mine hépatique conserve encore les traces de rhomboïdes du carbonate de fer, ou de ses lames originaires, on peut toujours la classer parmi les fers spathiques bruns.

Ce minérai ne rend à la calcination que de 0,07 à 0,210 d'eau et d'acide carbonique. Plus l'état de décomposition du minéral est avancé, moins il dégage d'eau et d'acide carbonique en le calcinant. Il produit, en l'essayant par la voie sèche, de 0,46 à 0,59 de fer; il retient de 0,01 à 0,06 d'oxide de manganèse, et de 0,00 à 0,03 de magnésie. C'est un fait assez remarquable que nous avions observé à Allevard en 1785, et qui a été vérifié depuis en 1806, par M. Berthier, ingénieur des mines (1), que le fer spathique perd sa magnésie en l'exposant long-temps à l'action de l'air. On voit cette terre sortir du minéral, et recouvrir le tas de fer spathique calciné que l'on expose à l'action de l'air et de l'eau; là on peut la séparer, le plus souvent sous l'état de sulfate de magnésie; c'est celui sous lequel nous l'avons recueilli à Allevard.

Très-souvent des pyrites de fer et de cuivre sont mélangées avec le fer spathique; lorsque ces sulfures s'y rencontrent, ils contribuent à rendre le fer défectueux, particulièrement le dernier, qui le rend *rouverin* ou brisant à chaud.

DE L'OXIDE DE FER.

132. Nous rangeons dans l'espèce oxide tous les fers qui sont jugés, soit par leur aspect, soit par l'analyse, devoir être oxidés au maximum; mais comme ces oxides se comportent à la fusion d'une manière très-différente, et que les substances avec lesquelles ils sont mélangés ont une

(1) Journal des Mines, tome 21, page 281.

grande influence sur leur fusibilité et sur l'espèce de fer qu'ils produisent, nous sommes conduits à diviser les oxides en deux sous-espèces: oxides purs et oxides terreux.

133. *L'oxide de fer pur* ne devrait être composé que de fer et d'oxigène, ce dernier dans une proportion plus grande que celle que l'on trouve dans les oxidules, c'est-à-dire, de 45 sur 100 de fer. Plusieurs oxides sont réellement dans cet état; mais on en trouve aussi quelques-uns qui contiennent de l'eau, de l'acide carbonique, de l'oxide de manganèse, et, dans quelques circonstances, un peu de terre: elle y est rarement à l'état de combinaison; elle ne s'y trouve le plus souvent qu'à l'état de mélange.

Les minérais oxidés purs se divisent en trois variétés: *oxides mêlés d'oxidules*, *oxides concrétionnés* ou *mamelonnés*, *oxides compacts.*

Des Oxides de fer mêlés d'oxidules.

134. Ces oxides sont très-faciles à distinguer des autres par des points ou des espaces qui ont l'éclat métallique du fer, et qu'ils laissent apercevoir soit à leur surface, soit à leur cassure.

Cette variété, composée de deux espèces différentes d'oxidules et d'oxides mélangés, quoique assez rares dans les collections pour n'avoir pas pu fixer l'attention des minéralogistes, à cause du peu d'intérêt qu'elle leur présente, a dû cependant s'y rencontrer quelquefois, et leur causer de l'embarras sur l'espèce dans laquelle ils devaient la placer.

Si l'oxide de fer mêlé d'oxidule est rare dans les collections, il est en revanche si commun parmi les minéraux que l'on fond dans les hauts et dans les bas fourneaux, que le métallurgiste ne peut se dispenser de le faire connaître. Il existe des mines qui ont une grande célébrité parmi les minéralogistes, à cause des beaux cristaux de fer oligiste que l'on en retire pour servir d'ornement dans les cabinets de minéralogie, et qui ne sont souvent connus des métallurgistes que par les oxides de fer mêlés d'oxidules qu'ils produisent, et que l'on traite pour en obtenir d'excellent fer. Parmi ces mines, on distingue celles de l'île d'Elbe, de

Framont, etc. Quelques-unes de ces variétés ayant été analysées, nous allons en présenter le tableau.

TABLEAU des Analyses de quatre Échantillons d'oxide de fer mêlé d'oxidules.

GISSEMENTS.	VARIÉTÉS.	CALCI-NATION	OXIDE DE FER.	SILICE.	CHAUX.	ALUM.	MAGN.	FER PAR LA VOIE SÈCHE.	OU SE TROUVENT LES ANALYSES.
Ile d'Elbe·····	Oxide rouge et oxidule.	0,024·	0,868·	0,038·	0,005·	0,000·	0,005·	0,676·	Laboratoire de l'Ecole des Mines de Moutiers.
Framont······	Eisenrahm········	0,050·	0,840·	0,070·	0,012·	0,020·	·····	0,665·	
Idem········	Oxide rouge et oxidule.	0,000·	0,440·	0,540·	Trace.	0,000·	0,000·	0,340·	
Sensac (Aveiron).	Oxide rouge et brun, et oxidule·······	0,050·	0,672·	0,250·	Trace.	0,016·	·····	0,506·	

En comparant le poids des culots de fer obtenu par la voie sèche, à celui du minéral, moins les matières étrangères que l'on en a retirées par la voie humide, on voit que l'oxide de l'île d'Elbe contenait trente-cinq parties d'oxigène sur cent de fer, l'eisenrahm de Framont 28 (1), l'oxide rouge de Framont 34, et l'oxide brun de Sensac, département de l'Aveiron, 35.

Si l'on pouvait regarder ces résultats comme exacts, c'est-à-dire, si l'on pouvait croire que rien n'a été perdu dans l'analyse, qu'il ne s'est dégagé que de l'eau et de l'acide carbonique par la calcination, que la partie du minéral traitée par la voie sèche était identiquement la même que celle qui a été traitée par la voie humide, on pourrait conclure, 1° que l'eisenrahm est de l'oxidule de fer pur, 2° que les oxides rouge et rouge-brun, de l'île d'Elbe, de Framont et de Sensac, contien-

(1) Cette petite quantité d'oxigène dans l'eisenrahm n'est qu'apparente, parce que l'on a regardé le culot obtenu comme étant de fer pur, et l'on sait qu'il peut et qu'il doit contenir du carbone.

nent environ; le premier 0,70; le second 0,65; le troisième 0,60 d'oxidule pur; 0,30; 0,35; 0,40 d'oxide. Mais, comme une foule de causes d'erreurs existe dans cette manière de conclure les proportions d'oxidules et d'oxides, il faut attendre, avant de prononcer, que l'on ait des méthodes plus exactes.

135. On peut diviser les oxides de fer mêlés d'oxidules en quatre sous-variétés, relativement à la nature de l'oxide dans lequel l'oxidule se trouve; *oxide rouge*, *oxide brun*, *oxide rubigineux* (1), *oxide jaune* (2).

Ces quatre sous-variétés se rencontrent séparément, mais on les trouve aussi quelquefois réunies dans le même morceau; plusieurs échantillons, parmi ceux que l'on vend à l'île d'Elbe, aux maîtres de forges, contiennent ces quatre variétés, soit séparées, soit réunies deux à deux, trois à trois, quatre à quatre.

L'oxide de fer mélangé de métalloïde a beaucoup d'analogie avec les oxidules, ils se traitent ensemble dans les mêmes fourneaux et par le même procédé; cependant cette première variété produit de meilleure fonte que la seconde.

Des Oxides de fer concrétionnés ou mamelonnés.

136. Les oxides de fers concrétionnés se trouvent en blocs, en masses plus ou moins grandes; ils tapissent ordinairement les cavités des vides que l'on rencontre dans plusieurs mines de fer. Cette variété paraît être formée de couches successives qui ont été superposées les unes sur les autres.

Haüy, Werner, et un grand nombre des métallurgistes ont donné le nom d'*hématite* à cette variété. Nous avons cru devoir nous soustraire

---

(1) *Rubigineux* vient du latin *rubigo*, rouille. Cette dénomination paraît avoir été donnée par Haüy.

(2) Il paraît, d'après les analyses les plus récentes de Proust et de Berthier, que l'oxide jaune est un hydrate de fer.

à des autorités aussi respectables, parce que cette dénomination présente une idée fausse de ce minéral. Hématite est formé du grec αιματιτης, *pierre teinte de sang*. Il existe à la vérité une variété d'hématite de couleur rouge, et à laquelle on attribuait la propriété d'arrêter les hémorragies; mais toutes les autres hématites ont des couleurs différentes, et cette propriété empirique n'est plus reconnue aujourd'hui.

Haüy n'a fait de l'hématite qu'une variété des fers oxidés; Werner en forme deux sous-espèces, la rouge qu'il place dans les oxides rouges, et la brune dans les oxides bruns. Cette classification, d'après les principes de Werner, ferait croire que ces deux sous-espèces ont des principes chimiques différents, et l'on trouve, à la vérité, dans les oxides bruns, du manganèse en assez grande proportion, tandis que les rouges n'en contiennent pas sensiblement. Mais cette distinction n'est pas assez constante pour séparer les hématites. On trouve souvent dans le même gîte, comme dans la mine de Framont, ces deux sortes d'hématites placées l'une à côté de l'autre, et quelquefois même dans le même échantillon; cette considération nous a donc déterminés à adopter l'opinion d'Haüy, et à placer les oxides de fer mamelonnés rouges et bruns, dans la même variété (1).

(1) M. Haüy a placé, depuis, l'hématite rouge dans le fer oligiste. Voy. son Tableau comparatif, page 95. — Les ingénieurs Berthier et Daubuisson viennent d'analyser de nouveau plusieurs espèces d'hématites brunes, dans lesquelles ils ont trouvé de l'eau combinée; ce qui rangerait ces oxides mamelonnées ou concrétionnées parmi les hydrates.

TABLEAU des Analyses des Mines de fer concrétionné.

GISSEMENTS.	VARIÉTÉS.	CALCINATION	OXIDE DE FER.	OXIDE DE MAGN.	SILICE.	CHAUX.	ALUM.	MAGN.	PERTE.	FER PAR LA VOIE SÈCHE.	OU SE TROUVENT LES ANALYSES.
Rothau ·······	Rouge ····	0,042 ·	0,914 ·	·····	0,020 ·	·····	·····	·····	0,024 ·	·····	Ecole-pratique des Mines de Moutiers.
Idem ·········	Fibreuse · ·	0,040 ·	0,908 ·	·····	0,038 ·	·····	·····	·····	0,014 ·	0,682 ·	
Arriège ·······	Noire ·····	0,100 ·	0,702 ·	0,160 ·	0,040 ·	Trace ·	Trace ·	Trace ·	0,018 ·	0,502 ·	
Viedessos ·····	Brune ····	·····	0,950 ·	·····	0,034 ·	0,002 ·	0,006 ·	·····	0,018 ·	0,680 ·	
Comté de Juliers.	Jaune ····	0,120 ·	0,792 ·	·····	00,48 ·	0,014 ·	·····	·····	0,026 ·	·····	
Styrie ·········	Brune ····	·····	0,850 ·	0,017 ·	0,110 ·	0,005 ·	·····	0,03 · ·	·····	·····	

On voit, en comparant ces mines entre elles, qu'elles sont très-riches, que la quantité de terres combinées ou mélangées qu'elles contiennent n'excède pas 0,07, si ce n'est l'échantillon de Styrie, qui va à 0,12; mais il y avait visiblement des terres mélangées.

On voit que deux échantillons, l'un d'oxide noir et l'autre d'oxide brun, contenaient du manganèse, et que l'un des deux retenait 0,03 de magnésie.

Les oxides rouges de Rothau, et bruns de Viedessos, qui sont les plus purs, ont produit, par la voie sèche, des culots de fer de 0,68, ce qui suppose, en retranchant les substances étrangères à l'oxide de fer, que celui de Rothau contient 35 d'oxigène environ pour 100 de fer, et celui de Viedessos 38.

137. L'abbé Chappe a rapporté, de son voyage en Sybérie, plusieurs échantillons d'oxide de fer mamelonné; ces échantillons ont été essayés par M. Bouchu, correspondant de l'académie des sciences, et traducteur de l'excellent ouvrage de Swedemborg : les culots obtenus par la voie sèche, des oxides concrétionnés jaunes, contenaient 0,63 de fer; ceux des oxides bruns entre 0,51 à 0,72, ceux des oxides noirs entre 0,52 à 0,61, ceux des oxides bruns mêlés de mica entre 0,47 à 52, ceux des oxides rouges 0,51.

138. Cette variété d'oxide a sa surface tantôt lisse, tantôt drusique; elle est quelquefois brillante; elle acquiert, aux endroits limés, un éclat d'un gris métallique.

Sa structure est ordinairement fibreuse; quelquefois aussi elle est unie, terreuse, inégale, à petits grains; quelques morceaux se divisent, par la percussion, en fragments semblables à ceux du bois que l'on éclate.

Sa raclure est d'un rouge sombre et d'un rouge-brunâtre plus ou moins clair.

Les oxides de fer concrétionnés se divisent en deux classes, par rapport à leur sous-variétés : oxides *concrétionnés rouges*, oxides *concrétionnés brunâtres*.

139. L'oxide concrétionné rouge diffère essentiellement des autres, en ce qu'il ne contient ni oxide de manganèse, ni magnésie; il est souvent très-pur, mélangé d'un peu de silice, et difficilement fusible. Son état de composition le rapproche des minérais métalloïdes. Cette sous-variété est tellement dure, qu'on la choisit pour polir les corps, et en particulier les métaux.

De même, l'oxide concrétionné brunâtre diffère du précédent par sa couleur, et parce qu'il contient quelquefois de la magnésie, de l'oxide de manganèse et de l'eau; souvent on voit l'intérieur des espèces de géodes, qu'il forme, recouverts de cet oxide, ayant l'éclat métallique.

140. Les oxides mamelonnés bruns se fondent beaucoup plus facilement que les rouges; plusieurs sont traités directement au bas fourneau, par la méthode dite *à la Catalane*. Cet oxide, que l'on trouve souvent dans les gîtes de fer spathique, partage les propriétés des fers spathiques bruns; mais il est plus dur, plus compact et plus dense.

Les oxides concrétionnés noirs, rubigineux et jaunes peuvent être réunis à la sous-variété brune. Ils se trouvent souvent ensemble sur le même morceau, sur le même échantillon; ils passent ainsi quelquefois insensiblement d'une couleur à l'autre.

De l'Oxide de fer compact.

141. L'oxide de fer compact est en masse ou en gros fragments, il est dur, rude, et se casse avec difficulté.

Cette variété est composée du fer oxidé rouge grossier, et du fer oxidé rubigineux massif, d'Haüy, ou de la mine de fer rouge compacte et de la mine de fer brune compacte, de Werner; nous avons réuni en une seule, les deux variétés d'Haüy et les deux sous-espèces de Werner, parce que ces minérais se trouvent ensemble, et sont traités concurremment dans le même fourneau.

TABLEAU des Analyses des dix Échantillons d'oxide de fer compact.

GISSEMENTS.	VARIÉTÉS.	CALCINATION	OXIDE DE FER.	OXIDE DE MANG.	SILICE.	CHAUX.	ALUM.	FER PAR LA VOIE SÈCHE.	OU SE TROUVENT LES ANALYSES.
La Voulte (Ardèches)..	Rouge comp.	.....	0,780.	0,120.	0,03..	.....	0,020.	0,653.	Registre du Conseil des Mines, n° 73, 87, 148.
Idem................	Rubigioeux .	.....	0,880.	0,030.	0,06..	.....	0,030.	0,620.	
Nassau-Saarbruck.....	Bruoâtre....	.....	0,905.	.....	0,095.	.....	.....	0,640.	
Delle (Haut-Rhin).....	....	.....	0,920.	.....	0,030.	0,020.	.....	0,545.	
Atos (Arriège)........	Brun.......	0,102.	0,850.	0,015.	0,017.	0,008.	.....	0,628.	Ecole des Mines de Moutiers.
Départem. de la Sarthe..	Pecherz	0,132.	0,810.	.....	0,026.	0,002.	0,008.	0,602.	
Châlet, dép. de l'Allier..	Rouge	0,056.	0,492.	.....	0,430.	0,050.	.....	0,418.	
Saiot-Pancrais (Moselle).	Rubigioeux .	.....	0,800.	.....	0,125.	.....	0,075.	0,545.	Registre du Conseil des Mines, n° 60.
	....	.....	0,750.	.....	0,140.	.....	0,110.	0,545.	
Ouette (Haute-Saône)..	Rouge......	0,062.	0,920.	.....	0,080.	.....	.....	0,702.	

En comparant ces analyses, on voit que ces sortes de minérais sont ordinairement riches, puisqu'ils donnent, par la voie sèche, entre 0,54 et 0,70 de fer. On fait abstraction de l'échantillon de Châlet, qui était mélangé avec une grande quantité de silice. On voit encore que la terre qui domine dans ce minéral est la silice, qui y est combinée, dans quel-

ques circonstances, avec de l'alumine, souvent avec de la chaux, quelquefois même avec ces deux terres réunies; quelques échantillons contiennent du manganèse. L'oxide brunâtre devrait avoir 38 d'oxigène sur 100 de fer, en supposant qu'il ne s'en soit pas dégagé par la calcination; celui de Saint-Pancrais semblerait donner la même proportion dans l'un des échantillons, et 47 dans l'autre; mais il serait possible que ce dernier contînt de l'eau, dont on n'aura pas tenu compte; car il paraît, quoique les analyses aient été faites par Vauquelin, que l'oxide de fer a été conclu.

Ce minéral a un aspect lisse ou demi-terreux; sa cassure varie du matte au brillant, elle est unie, égale, grenue, ou conchoïde.

On peut diviser les fers oxidés compacts en deux sous-variétés : *oxidé compact rouge, oxidé compact brunâtre.*

142. L'oxide compact rouge ne contient, assez ordinairement, que de l'oxide de fer, de la silice et de la chaux, ou de l'alumine; mais on voit aussi, par l'échantillon de la Voulte, qu'il peut, dans quelques circonstances, retenir de l'oxide de manganèse; sa fusibilité est extrêmement variable, à cause des terres accidentelles qui y sont unies; il est souvent accompagné de quartz, de hornstène (W.), de spath calcaire, et même de spath pesant.

143. L'oxide brunâtre produit ordinairement d'assez bon fer, et d'une fusion facile. Plusieurs échantillons contiennent du manganèse; il est mélangé de silice, de chaux et d'alumine, dans des proportions très-variables; il est accompagné de quartz, de spath pesant, de spath calcaire, et de pyrite.

L'oxide de fer brunâtre peut être brun, rubigineux ou jaune; très-souvent ces différentes couleurs existent sur le même échantillon.

144. Les oxides de fer terreux se distinguent facilement des oxides compacts, en ce que les premiers sont un peu onctueux au toucher, et qu'ils exhalent une odeur plus ou moins argileuse.

Ces sortes de minérais peuvent se diviser, relativement à leur forme, en deux variétés : *oxide de fer terreux en gros morceaux*, ou *fragments; oxide de fer terreux argileux.*

Des Oxides de fer terreux en gros morceaux.

145. Ces minéraux sont en masses ou en morceaux détachés, quelquefois en géodes.

Plusieurs échantillons analysés ont donné les produits suivants.

TABLEAU des produits de onze Echantillons d'oxide de fer terreux, en morceaux plus ou moins gros.

GISSEMENTS.	VARIÉTÉS.	CALCINATION	OXIDE DE FER.	OXIDE DE MANG.	SILICE.	CHAUX.	ALUM.	FER PAR LA VOIE SÈCHE.	OU SE TROUVENT LES ANALYSES.
Indre	Compacte jaune .	0,160.	0,486.	.....	0,300.	0,008.	0,08..	0,38..	École-pratique des Mines de Moutiers.
Eure.........	*Idem*... *idem*...	0,124.	0,690.	.....	0,150.	.....	0,022.	0,514.	
Namor (Sambre et Meuse).	*Idem*, gris noir..	0,114.	0,254.	.....	0,480.	0,056.	0,072.	.....	
	Caverneua	0,180.	0,880.	.....	0,148.	0,019.	0,076.	0,560.	
Orne	Robiginecoa bruo.	0,140.	0,730.	0,016.	0,048.	Trace.	0,004.	0,574.	
	Ocre jaune	0,530.	0,300.	.....	0,020.	.....	0,150.	.....	Vauquelin, Registre du Conseil des Mines, n° 63.
		EAU.							
Vallée des Arques, départ. du Lot.	Tubéreuse......	0,150.	0,805.	0,005.	0,050.	.....	0,010.	0,575.	Berthier, Journal des Mines, n° 159, pag. 193.
		0,145.	0,805.		0,050.	.....	0,010.	0,575.	
	Mamelonnée....	0,155.	0,715.	0,070.	0,055.	.....	0,015.	0,510.	
		0,118.	0,747.		0,130.	.....	.....	0,530.	
Gallignée.....	Masse compacte .	0,115.	0,605.	0,010.	0,250.	.....	0,020.	0,44..	Berthier.

Ces analyses présentent un résultat remarquable, en ce que ces mines perdent, par la calcination, en eau et acide carbonique de 0,12 à 0,18. Un ocre jaune, analysé par Vauquelin, a perdu 0,53, ce qui est très-considérable.

207. Proust (1) a analysé de l'ocre jaune qu'il regarde comme un

(1) Journal de Physique, année 1806, tome 2, page 467.

hydrate de fer, c'est-à-dire, une combinaison d'eau et d'oxide de fer; l'échantillon sur lequel il fit ses expériences contenait, pour cent parties d'oxide, vingt-sept d'eau; l'oxide, dans cet hydrate, était au *maximum*. Ce savant espère que l'on en trouvera dans lequel il sera au *minimum*.

Les échantillons d'oxides terreux de la vallée des Arques, dans le département du Lot, qui furent analysés par l'ingénieur Berthier, contenaient de 0,118 à 0,155 d'eau. Ces minérais sont bien des hydrates, comme l'observe ce savant; mais est-ce encore un hydrate au *maximum*, ou est-ce l'hydrate au *minimum*, que Proust présume devoir exister? C'est ce que le temps fera connaître.

On distingue ces hydrates des autres minérais de fer, en ce qu'ils donnent tous une poussière jaune, ou d'un brun tirant sur le jaune. L'ingénieur Berthier trouva de semblables hydrates parmi les fers concrétionnés, ou hématites qu'il analysa, puisque ces minérais contenaient de 0,13 à 0,14 d'eau.

On voit que ces oxides sont encore riches, puisqu'ils donnent, par la voie sèche, de 0,38 à 0,57 de fer, et que les terres que l'on y trouve sont la silice unie à de la chaux et à de l'alumine; dans quelques échantillons, la proportion de silice prédomine, dans quelques autres, comme dans l'ocre jaune, c'est l'alumine. Indépendemment des terres siliceuses, calcaires et alumineuses, que quelques morceaux contiennent, on a trouvé, dans le minéral du département de l'Indre, une trace de phosphore et de chrome, et dans l'échantillon rubigineux, 0,0124 de soufre.

Le phosphate de fer est assez commun dans cette sous-variété, il est extrêmement rare de ne pas l'y trouver lorsqu'on l'y cherche; il y existe en proportion plus ou moins grande, et il donne au fer le défaut de casser à froid.

Les oxides terreux en gros morceaux se divisent en deux sous-variétés : *oxide terreux argileux*, et *oxide limoneux*.

146. L'*oxide terreux argileux* est doux au toucher, peu dur; il happe à la langue, fait effervescence avec les acides; il renferme souvent des empreintes de plantes et des débris de coquillages; il est aussi quelque-

fois mélangé de sulfure de fer, de plomb, de zinc, de zinc carbonaté, de sulfate et de phosphate de chaux et de fer; ces substances donnent au fer des défauts plus ou moins grands. Ses principales couleurs sont le brun, le rubigineux ou le jaune; il est en masses compactes, schisteuses, lamellaires, bacillaires (1), ou géodiques.

Les géodes sont de grandeur variable, elles ont des formes irrégulières; leur surface est souvent raboteuse et recouverte de sable adhérent; la cassure est brune, et l'intérieur de plusieurs d'entre elles renferme de l'argile. Quelques-unes de ces géodes sont connues sous le nom d'*Aétites* ou de pierres d'aigle.

147. Les *oxides limoneux* diffèrent peu, dans leur composition, des oxides argileux. C'est à la Suède, et principalement aux nombreux marais et aux lacs du nord de l'Europe, dans lesquels on extrait cette sous-variété, que l'on doit sa distinction; elle contient presque toujours du phosphate de fer, qui rend cassant à froid le fer que l'on en retire.

Analyse d'un Echantillon de mines limoneuses.

GISSEMENTS.	VARIÉTÉS.	EAU.	OXIDE DE FER.	OXIDE DE MANG.	ACIDE PHOSP.	OU SE TROUVENT LES ANALYSES.	Cette analyse pouvait être également parmi les oxides de fer terreux en fragments.
Les Prairies...	....	0,23.	0,66.	0,015.	0,08.	Klaproth, Journ. de Phys. t. 71, p. 137.	

Werner divise la mine limoneuse, dont il fait une espèce, en trois sous-espèces : la mine *des marais*, la mine *des lieux bourbeux*, et celle *des gazons* ou *des prairies*.

La mine *des marais* s'exploite dans tous les espaces couverts d'eaux ferrugineuses, et qui laissent déposer l'oxide de fer qu'elles entraînent.

(1) *Bacillaire*, du latin *bacillus*, baguette; c'est une dénomination d'Haüy.

Il existe, en Angermanie et en Dalécarlie (1), de grands lacs dans lesquels on extrait ce minéral tous les 20 à 30 ans. Il est toujours jaune lorsqu'on le retire : il a peu de consistance ; mais il se durcit et devient brun en séchant.

Les sous-espèces de minérais *bourbeux* diffèrent peu de celles des marais : il est difficile d'établir des différences entre elles. Ces deux minérais s'extraient sous les eaux qui les couvrent. Ce n'est que dans les lieux dans lesquels on les exploite, que l'on peut les distinguer. Nous allons rapporter la différence que Werner établit entre ces deux sous-espèces.

MINES DES MARAIS (2).	MINES DES LIEUX BOURBEUX (3).
COULEUR.	
Brun-jaunâtre assez clair.	*Brun-jaunâtre foncé*, qui passe au *brun-rougeâtre*, au *brun-noirâtre*, et même au *gris d'acier*.
FORME.	
Tantôt à l'état *terreux*, tantôt en *masses informes arrondies*, *tuberculeuses*, *criblées*.	En *masses informes*, *tuberculeuses*, *arrondies*, *criblées* et *cariées ;* les interstices sont souvent remplis de fer terreux bleu.
ÉTAT.	
A l'extérieur ; il est *mat*, ainsi qu'à l'intérieur.	Il est *mat*, rarement *un peu brillant* (lorsqu'il est d'un gris d'acier).
CASSURE.	
Terreuse.	*Terreuse*, passant à la cassure, *inégale* et à *petits grains*.

(1) Swedenborg, Traité du fer, section 4.

(2) Traité élémentaire de Minéralogie, tome 2, page 283.

(3) *Idem*, pages 283 et 284.

FORME DES FRAGMENTS.	
Indéterminée, à *bords obtus.*	*Indéterminée*, à bords obtus.
RACLURE.	
	Brun-jaunâtre clair.
TACHURE.	
Assez *tachant*.	
DURETÉ.	
Très-tendre, souvent même entièrement *friable*.	*Très-tendre*, passant au tendre.
DUCTILITÉ.	
	Aigre.
ONCTUOSITÉ.	
Maigre au toucher.	
PESANTEUR SPÉCIFIQUE.	
Médiocrement pesant.	*Médiocrement pesant*, plus que celui des marais.

La mine *des gazons* est formée de dépôts abandonnés par les eaux, recouvert ensuite de terre végétale, sur laquelle l'herbe a pu croître et donner naissance à des prairies qui couvrent ce minérai.

De l'Oxide de fer terreux en fragments.

148. Nous avons réuni, dans cette variété, tous les minérais de fer qui sont en fragments de différentes formes, et que l'on exploite sous la terre végétale, sous les couches de sable, et quelquefois entre des couches calcaires. Elle constitue la sous-variété globuliforme et pulvérulente du fer oxidé rubigineux d'Haüy, et les sous-espèces de fer réniforme, fer pisiforme, de l'espèce fer argileux de Werner, ainsi que la sous-espèce mine des prairies, de l'espèce fer limoneux du même minéralogiste.

On peut diviser l'oxide de fer terreux en fragments, en deux sous-variétés : oxide en fragments *agglutinés*, oxide en fragments *séparés.*

149. L'oxide de fer terreux, *en fragments agglutinés*, se trouve en

couche, en masse, ou en morceaux séparés plus ou moins gros. Il est formé de fragments ronds ou irréguliers, liés par une pâte, par un gluten plus ou moins dur; plusieurs de ces glutens ont une cassure unie, conchoïde. Les grains se brisent avec la pâte, et paraissent former un tout d'une égale dureté; dans d'autres, les grains se séparent des fragments en les brisant, et la pâte conserve les cavités des places qu'ils occupaient; enfin, il est de ces glutens qui s'effleurissent à l'air, et desquels les fragments se séparent naturellement, par suite de cette efflorescence.

TABLEAU de l'Analyse de cinq Echantillons de fer oxidé terreux en fragments agglutinés.

GISSEMENTS.	VARIÉTÉS.	CALCINATION	OXIDE DE FER.	SILICE.	CHAUX.	ALUM.	FER PAR LA VOIE SÈCHE.	OU SE TROUVENT LES ANALYSES.
Départ. des Ardennes.....	Pâte jaune, petits grains.	0,272.	0,328.	0,104.	0,206.	0,048.	0,256.	Ecole-pratique des Mines de Moutiers.
Départ. de Sambre et Meuse.	Pâte et grains rouges...	0,036.	0,782.	0,050.	0,084.	0,036.	0,618.	
Départ. de l'Indre........	Pâte jaune, grains ronds.	0,138.	0,628.	0,154.	0,006.	0,070.	0,402.	
	Grains Pechers.......	0,166.	0,640.	0,110.	.....	0,088.	0,460.	
Laval..................	Dans de l'argile.......	EAU. 0,154.	0,340.	0,125.	0,000.	0,170.	0,390.	Berthier.

L'échantillon du département de Sambre-et-Meuse contenait du phosphure de fer 0,008, et de la magnésie 0,08.

On voit que tous ces minérais donnent beaucoup d'eau et d'acide carbonique par la calcination, que l'oxide est combiné avec une quantité de silice assez considérable, et que l'un d'eux contient jusqu'à 0,206 de chaux.

Il est facile de conclure de ces analyses, que les minérais des Ardennes, de l'Indre et de Laval sont des hydrates, ainsi que l'ingénieur Berthier l'a conclu pour l'échantillon aggloméré de la Mayenne.

150. La sous-variété du fer oxidé en fragments séparés, est une de celles que l'on exploite le plus en France, en Pologne, et dans les plaines basses. Elle est en fragments anguleux, arrondis, tuberculeux, réniformes, sphériques, lenticulaires, de différentes grosseurs; on la trouve en grains fins, arénacés, ou terreux; sa couleur est rouge, brune, rubigineuse, jaune. Il est peu de minérais qui présentent plus de difference; souvent on en extrait, pour un même fourneau, quatorze à quinze variétés qui, toutes, ont des propriétés qui les distingue; on les mélange en diverses proportions, pour obtenir une fonte de la meilleure qualité, avec la plus petite dépense.

TABLEAU de l'Analyse de dix Echantillons de fer oxidé terreux en fragments séparés.

GISSEMENTS.	VARIÉTÉS.	CALCINATION	OXIDE DE FER.	SILICE.	CHAUX.	ALUM.	MAGN.	FER PAR LA VOIE SÈCHE.	OU SE TROUVENT LES ANALYSES.
Bedfort	Grains roods	.....	0,792	0,062	.....	0,092	.....	.....	Registre du Conseil des Mines, n° 193. 30.
Idem	Grains ronds	0,06	0,180	0,150	.....	0,300	Trace	.....	
Côte-d'Or	Anguleuse	0,230	0,550	0,052	0,150	0,001	Trace	0,400	Ecole-pratique des Mines de Moutiers.
St.-Dizier (Haute-Marne).	Brun mal lavé	0,186	0,670	0,086	0,012	.....	0,0017	0,495	
Haute-Saône	Plate anguleuse	0,120	0,510	0,274	0,002	0,07	.....	0,362	
Côte-d'Or	Petits grains	0,160	0,600	0,128	0,014	0,080	Trace	0,440	
		EAU.							
Bellaigue	Graios ronds bruts	0,155	0,376	0,250	.....	0,215	.....	0,267	Berthier.
Idem	*Idem*, lavés	0,150	0,575	0,120	.....	0,155	.....	0,41	
Saiot-Maurice	Masse irrégulière	0,128	0,492	0,170	.....	0,210	.....	0,362	Klaproth, Journal de Physique, t. 71, p. 137.
Hogau	....	0,145	0,53	0,23	0,065	Ox. de mang.		0,001	

L'échantillon de la Haute-Saône contenait une trace de soufre; celui de la Côte-d'Or, en petits grains, une trace de phosphate de fer, de soufre et de chrome. Des échantillons, en grains sphériques de différentes grosseurs, et de couleur jaune, des forges de Drambon, de

Champfont, de Grosbois, de Châtillon-sur-Seine, analysés par Vauquelin (1), lui ont donné de l'oxide de fer et de manganèse, de l'acide phosphorique, du chrome, de la magnésie, de la silice, de l'alumine et de la chaux.

151. En comparant les analyses de cette sous-variété à celle des variétés et sous-variétés des autres fers terreux, on trouve une grande différence entre leurs résultats; toutes contiennent des proportions d'eau et d'acide carbonique plus ou moins grandes, qu'elles laissent dégager par la calcination.

Cependant, les deux sous-variétés de fer oxidé terreux, en fragments, ont donné, dans quelques échantillons, du chrome que l'on n'a pas encore retrouvé dans les autres; le temps seul apprendra si ce métal, que retiennent la fonte et le fer qui en proviennent, n'existe que dans ces deux sous-variétés.

Enfin, les deux échantillons de Bellaigue, et celui de Saint-Maurice, analysés par l'ingénieur Berthier, sont des hydrates.

OBSERVATIONS.

152. La plupart des métallurgistes divisent les minérais de fer, en fer quartzeux, fer calcaire, fer argilleux, et cela relativement à la nature de la substance terreuse qu'ils leur ajoutent pour les fondre, et en séparer plus facilement le fer des scories; cette méthode, bonne dans quelques circonstances, est loin de donner une idée exacte du minéral. On a vu, par la réunion d'un grand nombre d'analyses qui ont été rapportées dans cette seconde section, qu'il est peu d'échantillons que l'on puisse regarder comme des combinaisons de fer avec une seule terre, si ce n'est le fer spathique, dans lequel le minéral pur, tel qu'il sort de la mine, et non dans l'état où il est lorsqu'on le jette dans le haut fourneau, est toujours combiné avec de la magnésie; il en contient quelque-

(1) Journal des mines, n° 119, page 388.

fois jusqu'à 0,13. Tous les autres minérais contiennent de la silice mélangée de chaux ou d'alumine, et souvent de ces deux terres ensemble.

153. La proportion de silice, dans le fer oxidulé, varie entre 0,010 et 0,08; dans les fers spathiques, entre 0, et 0,258; dans les oxidés purs, entre 0,020 et 0,480. Il paraît que, dans les fers spathiques et oxidés purs, la grande proportion de silice que l'on a trouvée dans quelques échantillons, y est accidentelle.

La proportion de chaux est, dans les fers oxidulés, entre 0,010 et 0,120; dans les fers spathiques, entre 0, et 0,040; dans les fers oxidés purs, entre 0, et 0,050; et, dans les fers oxidés terreux, entre 0, et 0,206. Si l'on pouvait croire à l'existence des minérais calcaires, on voit que ce serait dans cette dernière sous-espèce qu'il faudrait les placer.

La proportion d'alumine varie, dans les fers oxidulés, entre 0, et 0,065; dans les fers spathiques on en trouve rarement; dans les fers oxidulés purs, elle varie entre 0, et 0,110; et, dans les fers oxidés terreux, entre 0, et 0,150. On voit encore, d'après ce rapprochement, que, si l'on pouvait croire à l'existence des mines alumineuses, qu'elles se trouveraient dans les oxides de fer, et, en particulier, dans les fers oxidés terreux.

154. Mais nous devons le dire ici, cette distinction, utile dans la pratique, dans le travail des minérais de fer, est moins déterminée d'après la composition du minéral, que relativement à l'espèce de gangue dans laquelle il se trouve; et, comme la matière de la gangue accompagne toujours le minéral que l'on traite, à cause de la difficulté qu'on éprouve à la séparer par des moyens mécaniques, on peut regarder cette division comme indépendante de la nature du minéral. Ainsi, les trois espèces de minérais de fer, que nous avons considérées jusqu'à présent, qui sont les seules qui existent réellement, les fers oxidulés, les fers spathiques, et les fers oxidés, peuvent devenir, chacune en particulier, des minérais quartzeux, calcaires, ou argileux, selon que la gangue, dans laquelle ils se trouvent, est quartzeuse, calcaire, ou argileuse; et, ce qu'il y a de particulier, c'est que le seul minérai que l'on puisse regarder comme combiné avec une terre, le fer spathique, qui est réellement une mine magnésienne, perd ce nom et les propriétés que lui

donne la magnésie, par les opérations qu'on lui fait subir avant de la porter au haut fourneau : là, pour le métallurgiste, elle devient souvent une mine quartzeuse, calcaire, ou argileuse, suivant la nature de la gangue dans laquelle il se trouve (1).

---

(1) Cet article était déja imprimé lorsque M. d'Aubuisson eut la complaisance de nous communiquer un mémoire qu'il se proposait de lire à la Classe des sciences physiques et mathématiques de l'Institut, sur les Hydrates de fer. Ce savant ayant bien voulu nous permettre de publier, dans cet ouvrage, le résultat de ses recherches, nous avons cru devoir profiter de cette permission, pour compléter nos connaissances dans l'analyse des minérais de fer.

TABLEAU du résultat des Analyses de M. d'Aubuisson.

ESPECES DE MINÉRAIS.	LIEUX D'OU ILS VIENNENT.	DECHET AU FEU.	FER PEROXIDÉ.	MANG. PEROXIDÉ.	SILICE.	ALUM.	CHAUX.	PERTE.	*Observation.*
Hématite brune.......	Bergzabern (Bas-Rhin).	..15..	.79..	..2..	..3..	..0..	..0..	..1..	
Hématite brune.......	Viedessos (Arriége)..	..14..	.82..	..2..	..1..	Trace.	..0..	..1..	
Hématite rouge.......	Framont (Vosges)...	...3..	.90..	Trace.	..2..	..0..	..1..	..4..	
Hématite rouge.......	....	...0..	.98..	Trace.	..2..	..0..	Trace.	..2..	
Mine brune compacte..	Bergzabern (Bas-Rhin).	..11..	.84..	..1..	..2..	..0..	..0..	..2..	
Mine brune compacte..	Viedessos (Arriége)..	..12..	.81..	.....	..4..	..0..	..0..	..4..	
Mine brune compacte..	Voigsberg.........	..13..	.69..	..3..	.10..	..3..	Trace.	..2..	
Aétites.............	....	..14..	.76..	..2..	..5..	..0..	..0..	..3..	
Aétites.............	De l'Orne.........	..13..	.78..	Trace.	..7..	..1..	Trace.	..1..	
Mine en grains.......	Du Berry.........	..15..	.70..	Trace.	..6..	..7..	..0..	..2..	
Mine lenticulaire......	Franche-Comté......	..14..	.73..	..1..	..9..	..0..	Trace.	..3..	
Ocre et mine compacte.	Ile d'Elbe.........	..12..	.83..	Trace.	..5..	Trace.	..0..	..0..	
Mine brune compacte..	Pyrénées..........	..11..	.82..	Trace.	..2..	Trace.	Trace.	..6..	
[illegible] limoneuse.......	Lusace...........	..19..	.61..	..7..	..6..	..2..	Trace.	..2..	Acide phosph. 2, 5.

DU GISSEMENT DES MINÉRAIS DE FER.

155. On appelle *gissement*, en géologie, la position, la situation, l'arrangement, la manière d'être du minéral, dans les entrailles de la terre; et *gîte*, le lieu dans lequel il repose.

On distingue ordinairement cinq sortes de gissements : en *couches*, en *filons*, en *masses*, en *amas* et en *rognons*.

On appelle *couches* A, (planche 2) des plans, de différentes épaisseurs, parallèles aux bans des roches dans lesquelles ils sont interposés; les couches ont, comme les bancs des roches, des directions et des inclinaisons extrêmement variées, qui présentent autant de situations différentes. Il y en a d'horizontales, de verticales et d'inclinées sous toutes sortes de directions, et sous toutes sortes d'angles. On trouve encore des couches minérales contournées B, lorsque la roche elle-même présente cette manière d'être.

Les *filons* C, peuvent être considérés comme des fentes formées dans la roche, et qui ont été remplies de minérais. Ces filons sont assez généralement perpendiculaires aux couches, aux bancs des roches dans lesquelles ils se trouvent; ils ont, comme les couches métalliques, des directions, des inclinaisons et des épaisseurs ou *puissances* extrêmement variées.

Les *masses* D, E, en allemand, *stock-werck*, sont de grands espaces, de grandes excavations, des cavités de formes indéterminées, remplis de minérais, et qui existent dans les montagnes, dans les roches. Assez ordinairement les masses de minérais ne remplissent qu'une seule excavation D; dans plusieurs autres, la masse résulte de la réunion et de la rencontre d'un nombre de filons plus ou moins grands E, qui, séparés, sont stériles, et ne contiennent que des terres et des pierres, tandis que, quand ils sont réunis, ils acquièrent de la richesse, et contiennent du minéral.

Les *amas* F, sont des réunions de minérais, sur des espaces peu profonds, où le minéral n'est lui-même recouvert que de quelques pieds

de sable, ou d'une simple couche de terre végétale. Les amas se rencontrent assez ordinairement dans les plaines. On peut encore considérer, comme amas, les lits de sable qui se trouvent sous la terre végétale, et que les Allemands appellent *seiffen-werck*.

Les *rognons* ou *nids* G, sont de petits bancs de minérais, dispersés çà et là, en petite quantité, dans des terres argileuses, dans des dépôts limoneux, dans des sables, dans des débris, et quelquefois dans les terrains bouleversés.

On rencontre des *gîtes* qui sont entièrement remplis de minérais, mais le plus grand nombre contient un mélange de pierres et de minéral. On appelle *gangue* la substance qui accompagne le minéral; elle est presque toujours composée de plusieurs espèces de pierres et de terres qui diffèrent ordinairement de celles, des roches, dans lesquelles le gîte est placé. Souvent le minéral et la gangue forment des masses séparées qui occupent, dans le gîte, des places distinctes: d'autrefois, ces deux substances sont entièrement mélangées.

156. Nous avons divisé en espèces, sous-espèces, variétés, sous-variétés, le genre de fer, ainsi qu'il suit:

Genre.	Espèces.	Sous-espèces.	Variétés.	Sous-variétés.
Fer...	oxidulé...	....	cristalisé.	
			amorphe.	
			arénacé.	
	spathique.	....	gris.	
			brun.	
	oxidé.....	pur..	mêlé d'oxidule.	rouge-
			concrétionné...	brunâtre.
			compacte......	rouge-
				brunâtre.
		terreux en..	gros morceaux.	argileux.
				marécageux.
			petits fragments	agglutinés.
				séparés.

On peut, relativement à leurs gissements, diviser ces espèces, sous-espèces, variétés et sous-variétés, en huit parties; savoir : fer oxidulé, fer spathique, oxides de fer mêlés d'oxidules, oxides mamelonnés, oxides compactes, fer argileux, fer limoneux, et oxides terreux à petits fragments. Nous allons examiner quels sont les gissements de chacune de ces divisions, dans quel terrain elles existent, et quels sont les pays, les lieux dans lesquels on les exploite.

Du gissement des minérais de fer oxidulé.

157. Les minérais de fer métalloïde sont ordinairement en couches, en filons ou en masses, dans l'espèce de roches que les géologues regardent comme primitive. Ils s'exploitent habituellement dans les montagnes talqueuses et magnésiennes, composées de serpentines, de talc, de jade, de stéatite, d'asbest, de schiste micacé, de gneisse, de hornbleind, ou amphybole, de calcaire, de grenat, de strahlstein, ou actinote acciculaire, etc. On en rencontre aussi dans des roches stratiformes, que Werner range parmi les terrains secondaires ou de troisième classe, et qui sont composés de basalte et de grunstein, etc., ou un mélange de feld-spath et de hornblende.

La variété, que nous avons désignée sous le nom d'oxidule arénacé, se trouve dans les sables, soit sur le bord de la mer, soit sur le bord des torrents ou des fleuves; il provient, vraisemblablement, de la décomposition des schistes argileux ou micacés, des produits volcaniques et des autres roches dans lesquelles on le trouve disséminé : tout fait croire que l'oxidule arénacé, que l'on exploite sur le bord de la mer, près de Naples, doit sa génération à la pulvérisation des produits volcaniques.

On exploite ce minéral dans un grand nombre de pays : en Sybérie, en Russie, en Dalécarlie, en Suède, en Silésie, en Hongrie, en Bohême, en Piémont, en Italie, à l'île d'Elbe, en Chine, à Siam, en Afrique, et dans beaucoup d'autres lieux.

Du gissement des minérais de fer spathique.

158. Le fer spathique se trouve communément en couches, souvent aussi en filons et en masses; ses gîtes sont ordinairement dans les roches du premier ordre, composées de gneiss, de schistes micacés, de calcaire primitif; il se trouve quelquefois dans le même gîte que le fer métalloïde, quoique habituellement ils en aient de très-distincts.

On exploite du fer spathique, en Sybérie, en Hongrie, en Styrie, en Carinthie, dans le Tyrol, en Saxe, en Bohême, dans la Hesse, à Nassau-Siégen, et dans plusieurs parties de l'Allemagne; on en exploite en France, dans les Pyrénées, dans le Piémont, dans les départements de l'Isère, du Mont-Blanc. C'est un des minérais de fer que l'on recherche le plus volontiers; que l'on extrait avec le plus d'avantage, à cause de la bonté du fer, de l'acier qu'il produit, et de la facilité avec laquelle on peut le traiter.

Du gissement de l'oxide de fer mêlé d'oxidule.

159. Cette variété du fer oxidé se trouve constamment avec les fers oxidulés, ce n'est qu'une sous-composition de celui-ci; c'est, dans un grand nombre de circonstances, l'état sous lequel on exploite le fer oxidulé que l'on traite, pour en retirer le fer qu'il contient. Les célèbres mines de fer de l'île d'Elbe, de Suède, de Framont, dont on possède, dans les collections, de très-beaux échantillons d'oxidules purs et cristallisés, ne sont, en grande partie, que des oxides mêlés d'oxidules: ainsi, le gissement de cette variété et ses localités, sont les mêmes que ceux du fer oxidulé.

Du gissement des fers oxidés, concrétionnés ou mamelonnés.

160. Les oxides mamelonnés forment ordinairement des nids, des rognons déposés, soit dans des gîtes de minérais de fer, soit dans des terrains argileux, soit même dans des terrains éboulés et transportés. Lorsque cette variété de fer oxidé se trouve dans des gîtes d'autres minérais, elle s'y rencontre sous une couleur rouge ou brune, selon

l'espèce de minérais de fer dans lesquels les nids existent; l'oxide concrétionné rouge se trouve ordinairement mêlé avec le fer oxidulé, et l'oxide concrétionné brun, avec le fer spathique. Ces oxides tapissent l'intérieur des cavités qui se rencontrent dans les gîtes de ces deux espèces. Ils y sont en stalactite ou en masses globuliformes, dont l'intérieur est mamelonné.

En comparant l'analyse de ces deux sous-variétés d'oxide avec celles des deux espèces dans lesquelles on les trouve, on voit qu'elles ont sensiblement les mêmes composants; cependant l'oxide concrétionné brunâtre contient souvent de l'eau, de l'oxide de manganèse et de la magnésie, que l'on regarde comme les substances caractéristiques du fer spathique.

On présume donc, ainsi que tout porte à le croire, que ces deux variétés d'oxide doivent leur formation à une dissolution des substances dans lesquelles elles se trouvent, à un transport de cette dissolution à travers leur masse, et à un dépôt sur les parois des espaces vides (1).

Quant aux oxides concrétionnés que l'on rencontre épars dans des terrains argileux, dans des terrains de transport, on croit qu'ils y ont été chariés et déposés.

De ce que les oxides concrétionnés rouges se trouvent habituellement dans les gîtes de fer oxidulé, et les oxides bruns dans ceux de fer spathique, on ne peut et l'on ne doit pas regarder chacun de ces deux oxides comme des résultats de la décomposition des espèces dans lesquelles ils sont ordinairement, parce que l'on rencontre aussi, quelquefois, des oxides concrétionnés bruns dans les gîtes de fers oxidulés, et des oxides rouges dans les gîtes des fers spathiques.

---

(1) Le fameux minier de fer du Rancie, commune de Sens, près Vicdessos (Arriège), contient un mélange de fer oxidulé, de fer spathique, d'oxide de fer concrétionné brun et noir, et de manganèse : les ouvriers ont donné, au fer spathique, le nom de minérais à grains de *gabache*, c'est-à-dire, de bled sarrazin. Ils le regardent, avec raison, comme contribuant à la bonne qualité des fers et des aciers de forge qui en proviennent. (Cette note est de M. Gillet-Laumont, membre du Conseil des Mines.)

Du gissement des oxides compacts.

161. Les oxides compacts sont en couches, en filons, en masses et en nids ou en rognons. L'oxide rouge se trouve le plus ordinairement dans les terrains primitifs; il accompagne le fer métalloïde; il est mélangé avec lui. Une grande partie des oxides bruns sont des décompositions des fers spathiques; dans le plus grand nombre de cas, on confond la variété de fer spathique brun avec la sous-variété d'oxide compacte brunâtre; et dans cette circonstance, qui est le cas le plus général, cet oxide a le même gissement que les fers spathiques.

Quant aux nids ou rognons que l'on trouve épars dans des terrains argileux ou de transport, ce sont, ou des oxides chariés et déposés, ou des fragments d'oxide mamelonnés qui ont perdu leur caractère par le frottement.

On exploite des oxides rouges en Sybérie, en Saxe, en Bohême, au Hartz, dans la Hesse, en France; et les oxides bruns, en Sybérie, en Allemagne, en Saxe, en Thuringue, en Hongrie, dans le Tyrol, en Styrie, dans le Palatinat, en France, etc.

Du gissement des fers argileux.

162. Ces sortes d'oxides sont ordinairement en couches ou en masses; on les rencontre ordinairement dans les terrains stratiformes ou secondaires, accompagnant les schistes argileux ou bitumineux; les couches de ces minérais présentent de grandes variétés, quelques-unes sont très-épaisses. Toutes ces mines paraissent résulter de la décomposition des minérais déposés dans les terrains primitifs. Le fer argileux bacillaire se rencontre presque toujours dans le voisinage de quelque feu souterrain; ce qui a fait présumer à *Werner*, que l'action du feu est très-probablement la cause de la forme dont il est affecté.

Souvent ces oxides sont mélangés ou accompagnés de quelques autres minérais métalliques; tels que l'oxide de zinc, les sulfures de plomb, et même de fer, qui donnent aux fers qui en proviennent, différents défauts. On exploite ces minérais en Norwège, en Russie, en Pologne,

en Saxe, en Bohême, en Bavière, en Westphalie, en Franconie, en Italie, en Souabe, en Suisse, en Angleterre, en France, dans le ci-devant pays de Liége, aux environs de Namur, dans les Pays-Bas, près Saarbruck, etc.

Du gissement des oxides de fer limoneux.

163. Les oxides de fer limoneux se trouvent en amas dans des lacs, des étangs, des marais, ou dans les plaines. Ils sont déposés sur le sol, recouverts d'eau dans les endroits où ce liquide existe encore; ou sur le sol, recouverts de sable, de concrétion pierreuse, ou de terre végétale, et d'où les eaux se sont écoulées.

Ces minérais sont ordinairement mélangés de débris de végétaux ou de coquillages. Dans les plaines, où ils sont recouverts de terrains secs, ils portent encore les caractères des mines d'alluvion et de transport. Werner leur a donné des dénominations dépendantes des lieux où on les extrait; il les nomme mines des lacs, des étangs, des marais, bourbeuses ou de gazons.

On extrait les mines des lacs et des étangs dans plusieurs endroits du nord de l'Europe, particulièrement en Allemagne et en Dalécarlie; les autres sont extraites dans la Livonie, la Lithuanie, la Pologne, la Prusse, les duchés de Courland, de Brandebourg, dans la Souabe, le Palatinat, la France, etc.

Du gissement des fers oxidulés terreux en petits fragments.

164. Cette variété d'oxide terreux se trouve le plus ordinairement en masses ou en amas dans des terrains d'alluvion. Souvent elle est sur de la pierre calcaire, quelquefois dans des fentes; elle est recouverte de sable ou de terre végétale; elle se rencontre aussi dans de grandes cavités entourée de pierres calcaires. Dans plusieurs gîtes, le minérai est stratifié avec des couches d'argile; dans d'autres, il est mélangé de débris de végétaux, de coquillages et de terres, qui nécessitent un lavage préliminaire avant de l'employer.

A l'aspect de son gissement, et des matières qui y sont mélangées, on le juge produit par des alluvions et des transports.

On l'extrait en Pologne, en Bohême, en Bavière, en Saxe, en Silésie, en Franconie, en Souabe, en Suisse, et en France dans un grand nombre d'endroits. C'est cette variété qui est le plus généralement exploitée et fondue dans ce grand et vaste Empire.

OBSERVATIONS.

165. Haüy (1) divise les substances, qui forment l'enveloppe de la terre, en trois ordres. (2)

---

(1) Traité de Minéralogie, 4ᵉ volume, pages 429 et suiv.

(2) La division lithologique que nous présentons ici n'étant régardée que comme un ébanche, ce savant a cru devoir s'en occuper de nouveau, ainsi qu'il l'a fait connaître dans l'Introduction de son Tableau comparatif des résultats de la Cristallographie et de l'Analyse chimique, page xxix, lorsqu'il dit :

« J'ai conçu depuis long-temps, par rapport à cette seconde méthode, un plan d'après « lequel elle formerait un tableau qui pourrait servir comme de pendant à celui que « présente la méthode minéralogique. Il ne s'agirait, pour exécuter ce plan, que de « prendre d'abord, successivement, les diverses substances simples qui entrent dans la « composition des roches, pour bases d'autant de grandes divisions, dont les sous- « divisions offriraient la substance principale, soit seule, soit associée à d'autres subs- « tances. »

Tous les agrégats, dans ce nouveau plan, sont divisés en quatre classes; savoir :

1ʳᵉ. Substances pierreuses et salines.

2ᵉ. Substances combustibles non métalliques.

3ᵉ. Substances métalliques.

4ᵉ. Substances considérées comme volcaniques, ou généralement, ou seulement par une partie des géologues.

PREMIÈRE CLASSE.

PREMIER ORDRE.

Roches dont les bases et les autres composants appartiennent à des espèces proprement dites, telles que le *granit*, le *gneiss*, etc.

DEUXIÈME ORDRE.

Roches dont les bases ne peuvent être rapportées à des espèces proprement dites, et

PREMIER ORDRE.

Agrégats que l'on regarde comme étant de première formation, et qui porte plus particulièrement le nom de Roche.

Bases simples.

1° Roche feld-spathique.
2° Roche quartzeuse.
3° Roche amphyholique.
4° Roche micacée.
5° Roche talqueuse.
6° Roche calcaire.
7° Roche jadienne.

Bases composées.

8° Roche petrosiliceuse.
9° Roche cornéenne.
10° Roche serpentineuse.
11° Roche argileuse.

SECOND ORDRE.

Agrégats qui sont généralement regardés comme étant de seconde ou de troisième formation, et qui paraissent souvent devoir leur naissance à des sédiments, et leur dureté au dessèchement.

1° Argile.
2° Argile calcarifère ou marne.
3° Calcaire polissable, argilo-férifère, ou marbre secondaire.
4° Chaux sulfatée calcarifère.

---

dont la formation est due en tout, ou en partie, à une réunion mécanique de particules qui la composent, telles que l'*argile*, la *wacke*, le *schiste*, etc.

TROISIÈME ORDRE, *Conglomérats.*

Roches composées de débris de roches plus anciennes, agglutinées par un ciment, tels que les *brèches*, les *grès*, etc.

Les ordres sont sous-divisés en *genres*, dont les bases sont prises parmi les substances dominantes dans la composition des roches, et les *espèces* sont déterminées, ou par ces bases considérées seules, ou par les autres substances qui s'associent avec elles une à une, deux à deux, etc.

On voit, par cet extrait, que M. l'abbé Haüy nous a permis de publier, combien cette division est de beaucoup préférable à celle qu'il avait adoptée dans son Traité de Minéralogie.

TROISIEME ORDRE.

Agrégats composés de fragments ou de débris agglutinés postérieurement à la formation des substances auxquelles ils ont appartenu.

1° Quartz agathe brèche.
2° Calcaire brèche, ou marbre brèche.
3° Quartz arénacé agglutiné ou grès.
4° Quartz aluminifère *tripoléen*; TRIPOLI.
5° Granit recomposé, *vulgairement* grès de houillère.

Après ces trois ordres, Haüy ordonne et décrit les substances volcaniques.

166. Werner (1) divise les substances pierreuses, qui recouvrent l'enveloppe de la terre, en cinq classes.

PREMIERE CLASSE.

ROCHES PRIMITIVES.

1° Granit.
2° Gneiss.
3° Schiste micacé.
4° Schiste argileux.
5° Porphyre.
6° Siénite.
7° Serpentine.
8° Calcaire primitif.
9° Traps primitif.
10° Quartz.
11° Roche de topaze.
12° Schiste silicieux.

DEUXIEME CLASSE.

ROCHES DE TRANSITION, *ou* ROCHES INTERMÉDIAIRES.

1° Calcaire de transition.
2° Grauwacke.
3° Traps de transition.

TROISIEME CLASSE.

ROCHES TRANSIFORMES, *ou* SECONDAIRES.

1° Grès.
2° Calcaire secondaire.
3° Craie.
4° Gypse.
5° Sel gemme.
6° Houille.
7° Fer argileux.
8° Traps secondaire.

(1) Traité élémentaire de Minéralogie, tome 2, pages 559 et suiv.

QUATRIEME CLASSE.

ROCHES D'ALLUVION.

1° Terrain sabloneux.
2° Terrain limoneux.
3° Terrain marécageux.
4° Terrain de tuf.

CINQUIEME CLASSE.

ROCHES VOLCANIQUES.

167. On trouve, dans le premier ordre d'agrégat d'Haüy, et dans la première classe des roches de Werner, les minérais de fer qui suivent.

1° Fer oxidulé.
2° Fer spathique.
3° Fer oxidé, mêlé d'oxidule.
4° Fer oxidé concrétionné.
5° Fer oxidé compact.

On trouve, dans la première classe des roches de Werner, le fer oxidulé de Taberg, en Smoland.

On trouve, dans le second ordre, des agrégats d'Haüy; dans la troisième et quatrième classes de Werner,

1° Des fragm. d'oxide mamelonné.
2° Des oxides compacts.
3° Le fer argileux.
4° Le fer limoneux.

On peut donc, d'après cette récapitulation, juger, à quelqu'exceptions près qu'il est impossible de prévoir, quelles sont les espèces de minérais de fer qu'il est probable que l'on trouvera dans le terrain qui recouvre la surface du pays dans lequel on se propose de construire des usines à fer, et où il est nécessaire de faire des recherches pour découvrir leur gissement, avant de fixer leur position, d'élever les bâtiments qui leur sont destinés, et de déterminer l'espèce de combustible et de fondant que l'on doit employer pour séparer ce fer des minérais qui le contiennent.

DE L'ESSAI DES MINES DE FER.

166. Essayer un minéral, c'est déterminer, d'après des épreuves faites sur de très-petits échantillons, la nature et les proportions des substances qu'il contient. Cet art se divise en deux parties : l'une se nomme *docimasie*, l'autre *essai*. Dans la première, que l'on nomme aussi *essai par la voie humide*, on sépare toutes les parties qui composent le minérai; dans la seconde, que l'on distingue sous le nom d'*essai par la voie sèche*, on ne porte les recherches que sur les substances que l'on veut obtenir en grand.

Comme S. E. le Ministre de l'Intérieur a chargé un chimiste distingué d'écrire un cours de docimasie pour l'instruction des élèves des mines, nous nous dispenserons d'entrer dans de longs détails sur cet art; nous nous contenterons seulement de faire connaître les essais principaux, ceux qu'un maître de forges doit essentiellement savoir pratiquer.

L'essai est une des opérations préliminaires la plus utile dans la métallurgie; elle sert de guide dans les travaux que les minéraux doivent subir; elle fait connaître sur quelle substance ils doivent être dirigés, conséquemment, quels agents il est plus utile et plus avantageux d'employer.

Des essais par la voie humide.

167. On appelle essais par la voix humide, ceux qui s'exécutent à l'aide des acides et des autres agents, qui dissolvent, précipitent et séparent toutes les substances qui constituent le minérai.

Les essais par la voie humide sont toujours les plus exacts et les plus rigoureux; l'on sépare, par ce moyen, toutes les matières qui composent les échantillons; l'on peut connaître et leur nature et leurs proportions; mais c'est aussi le mode d'essais le plus difficile, en ce qu'il exige des connaissances chimiques très-approfondies. Un essayeur, pour pouvoir faire l'analyse exacte de quelques minérais, doit être très-exercé dans la chimie. Parmi ceux qui existent au commencement de ce siècle, Vauquelin et Klaproth sont les deux docimasistes qui jouissent de la répu-

tation la mieux méritée, et d'une célébrité acquise par de nombreux travaux et des expériences exactes.

Plusieurs minérais présentent de grandes difficultés pour être analysés avec précision; il faut alors une grande habitude des opérations chimiques pour séparer, avec quelque exactitude, les substances qui les composent, et qui diffèrent souvent beaucoup d'une variété, d'un morceau à un autre. Deux échantillons, qui ont le même aspect, ont quelquefois, parmi leurs composants, des substances qui établissent entre eux, relativement à la nature du fer qu'ils produisent, des différences considérables.

168. Les substances qui ont été trouvées jusqu'à présent dans les minérais de fer, qui ont été analysées, soit qu'elles fussent à l'état de combinaison, soit qu'elles fussent seulement à l'état de mélange, sont, le fer, le manganèse, le cuivre, le plomb, le zinc, l'arsenic, le chrôme, le titane, la silice, la chaux, l'alumine, la magnésie, la barite, le soufre, le phosphore, l'oxigène, l'acide carbonique et l'eau. Ainsi, lorsque l'échantillon que l'on analyse n'est pas encore connu, il faut diriger ses recherches sur toutes ces substances, et s'assurer en outre s'il ne contient pas d'autres matières qui n'auraient pas encore été trouvées.

Pour distinguer ces substances, et les séparer exactement, on fait usage de tous les agents dont le chimiste peut disposer; et pour les employer, le docimasiste doit connaître leurs actions chimiques, c'est-à-dire, les attractions que les molécules exercent à des petites distances modifiées par le concours de plusieurs molécules en présence, relativement, 1° à leur attraction; 2° à leur masse; 3° à l'état solide, liquide ou gazeux, pour lequel les combinaisons des molécules ont de la tendance.

169. Une analyse exacte des substances que le métallurgiste doit traiter, lui devient précieuse dans ses opérations; mais les résultats que les docimasistes ont obtenus jusqu'à présent, sont loin de remplir le but qu'ils se sont proposé. Le plus grand nombre des analyses que l'on publie ont été faites sur des échantillons choisis et triés; et les belles conséquences qui en ont été tirées ne peuvent malheureusement pas être toujours appliquées aux travaux en grand, dans lesquels le minérai

traité est un mélange de plusieurs échantillons, qui contiennent des matières de la gangue qui les accompagnent dans leur gîte.

Le minérai de fer spathique, sur lequel nous revenons souvent à cause des nombreuses analyses qui en ont été faites, et des discussions qu'il a fait naître, est, lorsqu'il est pur, une combinaison d'oxidule de fer, d'oxide de manganèse, de magnésie, d'eau et d'acide carbonique. Il semblerait, d'après ses analyses et ses essais par la voie sèche, devoir présenter de grandes difficultés pour être fondu, à cause de la magnésie qu'il contient, et qui forme quelquefois les 0,13 de son poids.

Le métallurgiste qui se laisserait guider par ce résultat, et qui voudrait ajouter à son minérai, en le fondant, des substances étrangères propres à modifier l'action de la magnésie, ne produirait souvent d'autres effets que de déranger son travail, et de faire engorger son fourneau. Le fer spathique, toujours mélangé de soufre dans le gîte qui le contient, est ordinairement grillé avant d'être fondu. Dans cette opération, il se combine de l'oxigène avec le soufre; cette combinaison produit de l'acide sulfureux qui se dégage en partie, et de l'acide sulfurique qui se combine avec l'oxide métallique et avec les terres. Le minérai est ensuite exposé, pendant un temps plus ou moins long, à l'action de l'air et de l'eau; alors il se forme de nouvel acide sulfurique, qui se combine avec le fer, la chaux et la magnésie. Ces sulfates, dissous par les eaux pluviales, sont entraînés avec elles, de manière que très-souvent, lorsque le minérai est porté au haut fourneau, il retient à peine une trace de magnésie; mais en revanche il retient souvent beaucoup de silice, d'alumine, et quelquefois des terres qui exigent d'autres fondants que ceux que l'on aurait été conduit à leur ajouter, si l'on s'était laissé entraîner par les brillantes conséquences, déduites de l'analyse du minérai pur. Pour avoir un résultat plus conforme à la nature du minérai, il faut prendre, sur le tas même que l'on va fondre, les échantillons que l'on veut essayer; il faut en outre en prendre dans toutes les parties du tas, afin que la petite quantité que l'on veut essayer contienne sensiblement, toutes les substances existantes dans le minérai, et cela dans des proportions à-peu-près semblables à celles où elles y sont lorsqu'on le fond.

Cette manière de prendre des portions de minérai dans toutes les parties du tas, se nomme *lotir.*

Quoique l'analyse exacte des minérais soit précieuse pour la théorie et la perfection de l'art, elle n'est cependant pas d'une nécessité assez absolue pour que le maître de forge ne puisse pas s'en passer dans son travail. Un bon essai, par la voie sèche, fait sur le minérai qu'il veut traiter, est souvent plus que suffisant, s'il est bien fait, pour lui procurer toutes les données dont il peut avoir besoin.

De l'essai par la voie sèche.

170. Essayer les mines, par la voie sèche, c'est les exposer, dans un creuset, avec ou sans fondant, à l'action du feu, de manière à les réduire, à les fondre, pour en séparer le fer qu'elles contiennent.

Les instruments nécessaires pour essayer les minérais de fer par la voie sèche, sont, 1° un mortier A, (planche 3), pour les pulvériser; 2° un tamis B, pour passer la poudre; 3° une balance C, pour les peser; 4° de bons creusets D, pour les exposer au feu; 5° une bonne forge E, ou un bon fourneau d'essai F, pour les fondre; 6° un tas et un marteau pour casser le creuset et débarrasser le culot de fer des scories qui l'enveloppent; 7° une lime pour s'assurer si le fer est doux et susceptible de se limer; 8° des aides pour essayer le culot; 9° les matières propres à former le flux, le fondant que l'on emploie pour faciliter la réduction, la fusion et la séparation du culot de fer.

171. Le mortier A, doit être de fonte de fer, ainsi que le pilon, afin de ne pas faire entrer, dans le minérai pulvérisé, des matières étrangères au fer. Il doit être assez grand pour que l'on puisse pulvériser dedans 20 à 30 grammes de minérai. Il faut qu'il ait au moins 25 centimètres de haut sur autant de large.

Il est bon aussi d'avoir plusieurs tamis B, pour passer à plusieurs fois le minérai pulvérisé: le premier peut être de fil de fer, ou au moins de gros crins, et les autres de soie. Il suffit que les gros tamis aient de 2 à 4 décimètres de diamètre, et les petits de 1 à 2.

172. La balance doit être exacte. Il faut qu'elle puisse évaluer les mil-

lièmes de grammes, et qu'elle puisse peser à-la-fois 20 grammes au moins à un millième de gramme près. Il serait bon, pour plus de commodité, que la balance fût suspendue, et qu'on pût, par le moyen d'un fil, ou par tout autre mécanisme, la soulever légèrement et sans secousses, pour juger plus exactement de la plus petite différence dans les poids.

173. De bons creusets D, qui supportent bien le feu sans se fendre et sans se gercer, sont d'une utilité absolue. Le choix est peut-être ce qu'il y aurait de plus difficile dans chaque usine; mais il existe une espèce de creusets, long-temps éprouvée dans les essais, et qui résiste constamment bien ; ce sont les creusets de Hesse que l'on peut employer avec le plus de sécurité : ils ont la forme d'une pyramide tronquée, posée sur sa tronquature; l'ouverture est triangulaire et la base circulaire. Les petites piles, dites de cinq, sont ordinairement suffisantes pour ces essais.

On place ces creusets sur de petits cylindres G, de terre réfractaire, auxquels on donne le nom de *fromages ;* quelquefois aussi on les place sur d'autres creusets H, qui servent de supports. Lorsqu'on ne peut pas trouver de terres assez réfractaires pour faire les fromages, on peut employer sans danger un autre creuset, et, dans ce cas, on se sert communément de ceux dans lesquels on a déja fait des essais.

L'intérieur des creusets, dans lesquels on met le minérai qui doit être fondu, est ordinairement brasqué.

On appelle *brasque,* une couche de charbon I, plus ou moins épaisse, dont on couvre la surface intérieure du creuset, pour empêcher que le minérai, en se fondant, ne l'attaque et ne le fasse fondre, ou que la terre du creuset, mêlée avec le minérai fondu, ne donne une masse de scories plus grande que celle qu'on aurait obtenue sans cette addition.

Pour brasquer, on met peu-à-peu, dans les creusets, de la poussière de charbon que l'on a délayée avec un peu d'eau pure, ou avec de l'eau dans laquelle on mêle un peu de colle ou de gomme. Chaque couche de poussière de charbon est battue, comprimée avec le manche d'un marteau. On creuse, avec un couteau, un vide intérieur dans lequel on place le minérai et le flux qui doit le faire fondre.

Lorsque le minérai et le flux sont placés, on met par-dessus de la poussière de charbon, ensuite on recouvre le creuset, soit avec un petit chapeau de terre infusible K, soit avec un second creuset L, plus petit que le premier; on lutte exactement ce couvercle avec de la terre grasse, pour empêcher que le charbon de la brasque et celui qui recouvre le minérai ne soit brûlé par l'air qui le toucherait.

Le creuset est fixé avec de bonne terre grasse réfractaire, sur le fromage ou sur le creuset qui lui sert de support.

174. Une bonne forge E, dont le feu est activé par un bon soufflet de cuir, est souvent suffisante pour faire des essais de fer.

Dans ce cas, on élève, avec des briques, autour de l'ouverture de la tuyère, sur l'âtre de la forge, un encaissement carré M, ou circulaire N, le premier de 23 à 30 centimètres de côté, l'ouverture de la tuyère étant au milieu de la face du mur, le second de proportion à-peu-près semblable.

Le creuset, sur son support, est placé au centre de l'espace; on l'entoure de charbon qu'on laisse allumer seul. On donne le vent, d'abord lentement, puis on l'augmente successivement jusqu'à ce que le creuset ait essuyé toute la température qu'il doit éprouver; on le laisse refroidir un peu, on le retire, on le fait refroidir à l'air, on le casse, on sépare le culot et on le pèse.

Les forges présentent de grands inconvénients, ce qui est cause que les essais réussissent difficilement, même avec de l'habitude. Cela a lieu sur-tout lorsque le minérai est difficilement fusible; le creuset y est exposé à une température inégale, qui, quelquefois le fait fondre, souvent le fait gercer et fendre. On ne peut pas facilement graduer la chaleur; ensorte que deux essais peuvent être rarement semblables, parce que l'on ne peut affirmer que l'un n'ait pas été plus chauffé que l'autre.

Les fourneaux construits exprès pour ces sortes d'essais, doivent donc être préférés aux forges; il serait à desirer qu'il y en eût un dans chaque usine un peu considérable, afin d'avoir des données assez exactes sur la fusibilité des minérais que l'on y traite; et pouvoir servir, dans tous les temps à déterminer, ou les mélanges des minérais, ou les mélanges des

terres les plus favorables à une bonne fusion, et les plus propres à procurer une bonne fonte.

175. Parmi les fourneaux dans lesquels nous avons fait des essais de fer, ceux qui nous ont procuré les meilleurs résultats, sont : celui du grand laboratoire de l'école polytechnique F, et celui de l'école pratique des mines de Moutiers O. Ce dernier a été construit sur les proportions du fourneau du laboratoire du conseil des mines à Paris. Il en diffère en ce que, dans celui-ci, l'air arrive par trois tuyères, tandis que dans l'autre il n'arrive que par deux ouvertures.

Le fourneau de l'école polytechnique F, a intérieurement la forme d'une ellipsoïde de révolution ; sa hauteur est de 47 centimètres audessus du fond; la buse du soufflet n'a qu'une seule ouverture placée au fond. A 8 centimètres, à partir de ce même fond, est une plaque de fonte P, percée de trous au travers desquels l'air passe pour arriver à la grille Q, placée à 17 centimètres au-dessus du même fond; là elle pose sur un bord circulaire. C'est à partir de la grille que la forme ellipsoïdale commence. La hauteur est de 30 centimètres, le diamètre du bas 20, celui du milieu de 27, et l'ouverture supérieure, ou gueulard est en forme d'ellipse dont les deux diamètres ont, le plus grand 22 centimètres, et le plus petit 20. Cette forme n'a d'autre but que de faciliter la sortie de la grille.

Le fourneau de l'école pratique des mines de Moutiers O, (planche 4), a un vide prismatique rectangulaire de 5 décimètres de hauteur, à partir du fond, et de 2 décimètres de côté. Le vent arrive dans le bas par deux ouvertures opposées *a*, *b*, élevées de 8 centimètres au-dessus du fond; une grille R, posée sur quatre pieds, et qui a 17 centimètres de hauteur, se place dans le fond de la forge, ce qui laisse au-dessus un vide de 33 centimètres de hauteur; c'est sur cette grille que se fixent les creusets avec leurs supports.

Les deux tuyères correspondent chacune à un tuyau. Ces deux tuyaux Y, s'élèvent contre le mur; ils entrent dans une boîte S, qui sert de réservoir au vent, et dans laquelle est un registre *a*, qui modifie l'ouverture des tuyaux, et ne laisse passer, dans un temps donné, qu'une

quantité d'air déterminée. Cette boîte communique par un autre tuyau à la tête du soufflet.

Celui dont on fait usage à Moutiers est un soufflet d'orgue T, de 17 décimètres de long sur 7 de large; il s'élève d'un mètre.

Lorsque les registres sont ouverts, et que l'air sort à plein tuyau, le soufflet produit, par minute, un volume de 3 mètres cubes et demi d'air, sous une pression d'une colonne de mercure de $0^m,75$.

On peut encore se servir, avec quelques succès, des fourneaux à vent qui ont la forme de prisme à base triangulaire, circulaire ou ellipsoïdale, dans lesquels l'air extérieur s'introduit naturellement dans les parties inférieures. Ordinairement on place, dans la partie supérieure de ces sortes de fourneaux, un long tuyau, afin d'établir un fort courant. Tels sont, par exemple, les fourneaux de Lavoisier, &, (planche 5), et celui que Guyton fit construire à l'ancien palais Bourbon à Paris.

176. Pour retirer les creusets de la forge, on se sert de tenailles de forges ordinaires U, (planche 4), dont les machoires sont assez grandes pour embrasser facilement les creusets. Celles dont on fait usage pour retirer les creusets brasqués, sont longues et à mâchoires courbes V; les bras ont 8 à 10 décimètres de long. Il faut qu'elles puissent saisir facilement les creusets dans les fourneaux, sans que celui qui les retire soit exposé à se brûler, et qu'avec cet instrument on puisse également les transporter assez loin des fourneaux pour qu'ils se refroidissent avec facilité.

On voit encore sur la planche 4, deux autres espèces de tenailles K, L, qui peuvent être utiles pour manœuvrer dans les fourneaux et dans les forges d'essais.

177. Tout morceau de fonte, posé solidement, qui a une face droite, une enclume, ou mieux, un tas d'acier posé sur un billot, suffit pour casser le creuset, dépouiller le culot et éprouver sa malléabilité.

Le marteau peut être petit ou moyen, de manière que l'on puisse le manier facilement.

178. Dans plusieurs circonstances, le minérai est fondu sans autre préparation préliminaire; le plus souvent aussi on le grille; l'espèce de

grillage qu'il subit, dépend de sa nature et des substances avec lesquelles il est mélangé.

Lorsqu'il contient du soufre ou de l'arsenic, on est dans l'usage de lui faire subir un grillage. A cet effet, on le met dans un test à rôtir X, (espèce de creuset plat), et on l'expose ainsi à un feu gradué, que l'on augmente peu-à-peu jusqu'à faire rougir le creuset. On retourne continuellement le minérai, pendant cette opération, afin d'exposer toutes ses parties au contact de l'air, pour oxider et acider les dernières portions du soufre adhérent, et former de l'acide sulfureux qui se vaporise.

Si le minérai ne contient que de l'eau, de l'acide carbonique et de l'oxigène en excès, on le pulvérise et on le met dans un petit creuset *a*, on recouvre celui-ci d'un second *b*, un peu plus grand, on le place sur un fromage *c*, et on l'expose, dans un fourneau ordinaire, à l'action d'un feu vif et fort. Souvent en vingt-cinq minutes le minérai est grillé complètement. Un fourneau de cuisine suffit ordinairement pour cette opération.

Lorsque le minérai ne doit pas être grillé, on le pulvérise et on le dispose à être fondu; s'il doit être grillé, on le pulvérise, on le grille, puis on le pulvérise de nouveau pour le disposer à la fusion.

179. Les minérais que l'on essaie, doivent éprouver simultanément trois opérations : 1° ils doivent être réduits, ou plus correctement désoxidés ; 2° ils doivent être fondus ; 3° ils doivent être entièrement séparés des terres avec lesquelles ils sont mélangés ou combinés, pour former un seul culot séparé et distinct des terres vitrifiées ou agglutinées, ou, si l'on veut, des scories qu'elles forment.

Pour désoxider le minérai, il faut, en le chauffant, qu'il soit en contact avec du charbon; celui-ci se combine avec l'oxigène, et forme de l'acide carbonique. C'est ordinairement de la poussière de charbon, que l'on mêle avec le minérai, qui fournit le carbone nécessaire. Quelquefois ce combustible se trouve mélangé ou combiné dans le flux ou fondant que l'on emploie, ou enfin dans l'huile avec laquelle on l'imbibe.

Pour fondre le fer, il faut exposer le minérai à une température assez haute, pour que le métal désoxidé puisse se fondre. Pour séparer le

métal fondu, il faut aussi liquéfier les terres mélangées ou combinées. Lorsque la température à laquelle le minérai est exposé n'est pas assez élevée pour fondre les terres, on facilite leur liquéfaction par des agents particuliers, auxquels on donne le nom de flux ou de fondants, qui accélèrent souvent la fusion du métal.

Le métal et les terres fondus ensemble, produisent deux liquides qui ont peu d'affinité, et qui se séparent naturellement par la seule différence de leur pesanteur spécifique.

180. De tous les essais de minérais, celui du fer a été regardé comme un des plus difficiles, parce que l'on ne produisait pas ordinairement une température assez forte pour déterminer la fusion du métal et des terres.

Avant que la théorie de la vitrification des terres fût parfaitement connue, les essayeurs éprouvaient, dans leurs essais, beaucoup de difficultés pour parvenir à leur but, et chacun faisait usage d'un flux plus ou moins avantageux, que souvent le hazard lui avait procuré.

Les flux ou fondants les plus ordinaires, ceux que l'on emploie le plus généralement, sont: les flux *blancs* et *noirs*. Le flux blanc est un mélange de parties égales de nitre et de tartre blanc; ces deux substances pulvérisées, sont mises dans un grand vase : on les allume avec un charbon embrâsé. L'acide nitreux du nitre et l'acide tartareux du tartre, se décomposent mutuellement par la chaleur. Lorsque la combustion a cessé, il ne reste ordinairement que la potasse, base de ces deux flux, souillée d'une petite portion de charbon.

Le flux noir est un mélange d'une partie de nitre et de deux de tartre; le tartre rouge suffit dans cette circonstance. Ces deux substances pulvérisées, brûlées ou détonnées comme les précédentes, laissent un résidu noir, qui est un mélange de potasse et de charbon.

Lorsque le mélange du tartre et du nitre n'a pas détonné, on lui donne le nom de flux cru.

Comme les deux premiers flux sont très-hygrométriques, qu'ils attirent puissamment l'humidité de l'air, on les pulvérise après les avoir obtenus, et on les conserve dans des bouteilles bien bouchées.

Ces deux flux n'ayant pas été trouvés assez puissants, on en a composé de nouveaux.

Schluter (1) employait quatre espèces de flux pour essayer les mines de fer.

I. 20 parties de tartre.
10...... de nitre.
20...... de fiel de verre.
5...... de sable.
5...... de poussière de charbon.

II. 20...... de tartre.
10...... de nitre.
20...... de fiel de verre.
10...... de sable.
10...... de poussière de charbon.

III. 20...... de tartre.
20...... de nitre.
15...... de fiel de verre.
10...... de borax.
7,5...... de verre blanc.
7,5...... de chaux vive.
10...... de charb. de bois.

IV. 30...... de tartre.
15...... de nitre.
5...... de borax.
10...... de potasse.
10...... de sel marin.
10...... de verre.
5...... de chaux.
5...... de poussière de charbon.

V. Borrichius (2) composait son flux de
90...... de verre de plomb.
30...... de tartre rouge.
10...... de salpêtre.
5...... de sciure de bois de coudrier.

VI. Le flux de Pelais (3) était composé de
10...... de fiel de verre.
10...... de sel commun. décrépité ou de potasse.

VII. Crammer (4) employait un flux composé de
30...... de flux blanc.
10...... de verre aisé à fondre.
5...... de fiel de verre.
5...... de poussière de charbon.

(1) De la Fonte des Mines par Schluter, tome 1er, pages 230 et 231.

(2) De la Fonte des Mines par Schluter, tome 1er, page 232.

(3) *Idem.*

(4) *Idem*, page 233.

VIII. Guyton (1) fait usage d'un flux qui lui a parfaitement réussi, et que l'on nomme *flux Guyton ;* il est composé de
16 parties de verre pilé.
2...... de borax calciné.
1...... de poussière de charbon.

IX. Kirwan (2) recommande un flux, publié dans les annales de Crelle; il est composé de
1,25..... de chaux vive.
1,25..... de fluate de chaux.
1,00..... de charbon en poudre.

X. Bergman (3) conseille de placer le minéral grillé dans un creuset brasqué, et de le couvrir de borax. Sage (4) conseille d'employer le même flux, mais en augmentant la quantité de borax.

XI. Le flux de Snack (5), employé par Swab, est composé de
20...... de flux noir.
10...... de sel ammoniac.
10...... de tartre.
10...... de verre pilé.
5...... de borax.
5...... de poussière de charbon.

XII. Chaptal (6) s'est servi avec avantage du flux suivant:
20 parties de borax calciné.
2...... de chaux éteinte.
10...... de nitre.

Nous ne parlons pas ici des fondants proposés par Muschet (7), car ce n'est que le flux de Guyton, modifié par la chaux, qu'il emploie avec tous les échantillons, quoique cette terre soit non-seulement inutile, mais même contraire aux traitements des minérais calcaires (8).

---

(1) Eléments de Chimie théorique et pratique, tome 1er, page 227.
(2) Système des Connaissances chimiques, vol. 6, page 145.
(3) Système des Connaissances chimiques, vol. 6, page 145.
(4) Analyse chimique par Sage, tome 3, page 98.
(5) *Idem*, page 99.
(6) Eléments de Chimie, tome 2, page 306,
(7) Journal des Arts et Manufactures, vol. 3, page 19.
(8) On verra, à l'article *fondants*, qu'il est nécessaire d'employer autant de flux terreux diférents, qu'il peut y avoir de combinaisons de terres dans les minérais que l'on

181. Ces douze espèces de flux employés par des docimasistes célèbres, présentaient de trop grandes différences pour que l'on ne fût pas tenté de comparer leur effet. Nous avons fait cette comparaison à l'école pratique des mines, en traitant 10 grammes du même fer spathique grillé, de Saint-Georges-de-Hurtière, avec 20 grammes des flux n°s 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 12. La seule différence que nous nous sommes permise dans l'usage de ces flux, a été de mélanger avec le minérai, le borax : Bergman et Sage ne conseillent d'en employer que pour le couvrir, et d'imbiber ce mélange avec de l'huile, afin de fournir du charbon pour désoxider le métal.

Les minérais mélangés de flux ont été mis dans des creusets brasqués et recouverts, puis chauffés, pendant une demi-heure de grand feu, dans un fourneau chauffant modérement.

Les flux de Guyton, de Kirwan, de Bergman, de Chaptal, n°s 8, 9, 10, 12, ont produit des culots bien formés et assez uniformes dans leur poids. Les flux de Schluter, Pelais, Crammer, Snack, n°s 1, 6, 7, 11, ont donnés des grenailles disséminées dans les scories; le flux de Pelais a donné, parmi ses grenailles, un culot assez gros. Le flux de Borrichius, n° 5, n'a produit qu'une très-petite quantité de grenailles, parce que tout le fer était dissous dans les scories. Celui de ces flux qui paraît devoir être préféré aux antres, à cause de l'action qu'il exerce sur toutes les terres, et de la simplicité de sa composition, est celui de Bergman; mais il faut qu'il soit mélangé avec le minérai, et imbibé d'huile.

182. Tous ces flux, très-utiles pour fondre les minérais, et déterminer la quantité de fer que contiennent les échantillons que l'on essaie, ont cependant l'inconvénient de ne pouvoir indiquer avec exactitude la proportion de laitier que le minérai doit donner, non plus que la fusibilité des scories qu'il produit. Un essai de la substance seule, sans addition, dans un fourneau chauffant assez fort pour la fondre, serait plus conve-

---

essaie, et l'on conclura facilement que l'emploi de la chaux seule, peut devenir nuisible dans un grand nombre de circonstances.

nable, parce qu'il pourrait donner ces deux nouveaux résultats, et qu'il servirait à éclairer le maître de forge sur la fusibilité de son minérai.

Lorsque l'échantillon à essayer est composé d'oxide ou d'oxidule pur, on peut, en l'imbibant d'huile, après l'avoir pulvérisé, le fondre dans un creuset brasqué, et l'on obtient un culot de fer qui indique sensiblement le poids du métal pur qui y était contenu.

Si les terres, qui sont combinées ou mélangées avec l'oxide métallique, sont dans une telle proportion qu'elles soient bien fusibles, sans addition, à la température du fourneau d'essai, on peut encore pulvériser le minérai, l'imbiber d'huile, et l'exposer à l'action du feu, dans un creuset brasqué; on obtient par ce moyen deux culots, l'un métallique, l'autre de terres vitrifiées; et, en les pesant séparément, on détermine la proportion de métal et de scorie que le minérai peut rendre.

Mais lorsque le minérai n'est pas fusible sans addition, il faut y ajouter les terres qui sont nécessaires à la fusion de celles que l'échantillon contient déja; et l'on obtient ainsi, comme dans l'essai précédent, deux culots, l'un de fer et l'autre de scories.

183. Pour déterminer quelles sont les terres qu'il faut ajouter, on peut, si l'on connaît déja celles qui sont contenues dans l'échantillon, partir de ce principe général de la fusibilité des terres, que de la silice, de l'alumine et de la chaux, en parties égales, se fondent bien; de même que parties égales de silice, de chaux et de magnésie; de silice d'alumine et de magnésie. D'après ce principe, quelle que soit la proportion des terres existantes dans les minérais, il ne faut qu'ajouter celles qui manquent pour compléter leur proportion.

Si l'on en excepte les fers spathiques, et plusieurs fers oxidulés, qui sont combinés ou mélangés avec de la magnésie, presque tous les minérais de fer contiennent de la silice, de la chaux et de l'alumine; et c'est relativement à l'excès de l'une ou de l'autre de ces terres, que les métallurgistes les ont nommées mine siliceuse, mine calcaire, et mine argileuse.

Lorsque les minérais ne contiennent qu'une ou deux de ces terres, ou lorsque l'une d'elles domine considérablement sur les autres, rare-

ment ils sont fusibles sans addition ; il faut alors leur ajouter de la marne, de l'argile, du silex, ou un mélange de marne et d'argile.

Ordinairement on parvient à fondre les mines siliceuses en leur ajoutant de la marne ; on fond les mines calcaires en leur ajoutant de l'argile, et l'on fond les mines argileuses en leur ajoutant de la pierre calcaire ; mais il y a, ponr chacun de ces minérais, une proportion d'addition, qui est la plus favorable à leur fusion, et cette proportion, qui est celle qui approche le plus de l'égalité de poids entre ces trois terres, peut se déterminer par tâtonnement, en essayant le minérai avec diverses proportions de la terre à ajouter.

S'il existait des minérais purement magnésiens, c'est-à-dire, dont la terre mélangée ou combinée fût de la magnésie pure, on pourrait la fondre avec de l'argile dans laquelle l'alumine serait en plus grande proportion qu'elle ne se trouve dans les argiles ordinaires, ou mieux avec un mélange de parties égales d'argile et de marne.

Lorsque l'on connaît la terre dominante dans le minérai, il est facile de déterminer quel fondant il faut lui ajouter ; mais lorsqne cette terre n'est pas connue, il faut faire trois essais séparés de l'échantillon : 1° avec de la marne, 2° avec de l'argile, 3° avec de la silice ; lorsque l'on a trouvé celle de ces trois substances naturelles, celle avec laquelle le minérai se fond le plus facilement, il faut ensuite chercher, par de nouveaux essais, quelle est la proportion de cette substance qui peut être employée avec le plus d'avantage.

Cet essai, qui indique à-la-fois la substance et la proportion la plus favorable à la fusion du minérai, pent servir avantageusement au maître de forge, pour le traiter en grand, puisqu'il peut y appliquer le meilleur fondant qu'il a obtenu dans ses essais. Si le fondant favorable trouvé par l'expérience, n'existait pas à la proximité de l'usine, que son extraction et son transport fussent trop chers, il faudrait, par de nouveaux essais, chercher si, parmi les fondants qui sont très-près de l'établissement, ou que l'on peut se procurer à peu de frais, il en existe qui puisse remplir le même but.

184. Pour vérifier la théorie de la fusion des terres les unes par les

autres, nous avons fait faire, à l'école pratique des mines de Moutiers, des essais, par la voie sèche et sans addition, des minérais métalloïdes, spathiques, oxidés purs et oxidés terreux. Ces essais ont été faits en pulvérisant le minérai, l'imbibant d'huile, le mettant ainsi dans un creuset brasqué, couvrant cette matière de charbon, luttant sur le creuset un couvercle réfractaire, et l'exposant ensuite à l'action du feu, dans le fourneau d'essai.

Le fourneau rempli de charbon entremêlé de quelques charbons embràsés, est abandonné pendant un quart d'heure pour le laisser allumer; puis on donne un quart du vent pendant dix minutes, moitié du vent pendant dix autres, les trois quarts du vent pendant dix autres, et enfin tout le vent pendant dix autres minutes.

Sur trente-sept échantillons, vingt-sept ont très-bien fondu sans addition; savoir, huit de fer oxidulé, dont un cristallisé de l'île d'Elbe, un de fer écailleux, deux de fer aimantaire du même endroit, un cristallisé, et un amorphe du Val-d'Aost, deux amorphes et compactes de Suède; cinq de fer spathique de Saint-Georges-de-Huretière, d'Allevard, de Styrie et de Carinthie; deux d'oxide oxidulé, l'un mélangé d'oxide rouge de l'île d'Elbe, l'autre d'eisenrahm de Framont; quatre oxides mamelonnés, l'un rouge de Rothau, les trois autres brun et noir des Pyrénées, et du comté de Juliers; trois d'oxide compacte des départements de l'Aude, de l'Arriège et de la Sarthe; un d'oxide terreux caverneux en masse; un d'oxide terreux en fragments agglutinés, du département de Sambre-et-Meuse; trois d'oxide terreux en fragments séparés, de la Haute-Marne, de la Haute-Saône, et de la Côte-d'Or. Ces vingt-sept échantillons, analysés, ont donné des proportions des trois terres, silice, chaux, alumine, peu différentes : plusieurs échantillons de fer oxidulé n'ont donné que quelques centièmes de silice, et ceux de fer spathique ont donné de la magnésie, de la silice et de la chaux en très-petite quantité.

Dix échantillons n'ont pas fondu, parce que les terres qu'ils contenaient n'étaient pas en proportion convenable. On leur a ajouté d'autres terres nouvelles, de manière à rendre les mélanges fusibles : exposées de nouveau à l'action du feu, elles sont entrées aussitôt en fusion.

TABLEAU des Essais faits par la voie sèche, des Minérais qui n'ont pas fondu, et que l'on a rendus fusibles en leur ajoutant de nouvelles terres.

GISSEMENTS.	VARIÉTÉS.	TERRES MÉLANGÉES.			TERRES AJOUTÉES.			FER OBTENU.
		SILICE.	CHAUX.	ALUM.	SILICE.	CHAUX.	ALUM.	
Framont	Oxide oxidulé	0,70	Trace	0,....	0,....	0,40	0,20	0,34
Sansac (Charente).	Oxide oxidulé	0,250	Trace	0,016	0,....	0,220	0,08	0,506
Châlet (Allier)	Oxide compact	0,430	0,05	0,....	0,....	0,300	0,300	0,418
Indre	Oxide terreux compacte	0,300	0,008	0,080	0,....	0,200	0,200	0,381
Eure	Oxide terreux jaune	0,150	0,....	0,022	0,....	0,100	0,100	0,514
Orne	*Idem*, caverneux	0,048	Traec	0,004	0,....	0,060	0,020	0,574
Ardennes	Oxide terreux en fragments agglutinés	0,104	0,206	0,048	0,....	0,....	0,20	0,256
Indre	*Idem*	0,154	0,006	0,070	0,....	0,10	0,....	0,402
Idem	*Idem*	0,110	0,....	0,088	0,....	0,10	0,....	0,460
Côte-d'Or	Oxide terreux en fragments séparés	0,052	0,150	0,0011	0,060	0,....	0,020	0,400

On voit, d'après les essais, par la voie sèche, qui ont été faits sur des minérais de fer pris au hazard, que, dans le plus grand nombre des échantillons, c'était la silice qui dominait, et que le fondant naturel à ajouter, était un mélange de chaux et d'alumine connu sous le nom de marne (1); que, dans quelques autres, les terres dominantes étaient un mélange de silice et d'alumine, connu sous le nom d'argile, et que la chaux était le fondant naturel qu'il fallait ajouter; enfin qu'un échantillon avait pour terres dominantes, de la silice et de la chaux, et que son fondant naturel était un mélange de silice et d'alumine connu sous le nom d'argile.

---

(1) Comme le nom de *marne* a été donné, dans divers pays, à des substances très-différentes, nous appelons marne un mélange et une combinaison de chaux et d'alumine.

TROISIÈME PARTIE.

Les deux premières parties de l'Art de traiter les minérais de fer pour en obtenir de la fonte, du fer et de l'acier, ne contiennent que les détails des connaissances préliminaires qu'un maître de forge doit nécessairement avoir, puisqu'elles enseignent seulement à reconnaître et à distinguer les variétés de fers que l'on obtient, les causes des différences qui les distinguent, ainsi que les divers minérais d'où on les tire. Cette troisième partie constitue principalement l'art de fabriquer le fer, puisqu'elle contient la description de tous les travaux que l'on emploie pour extraire, des minérais, toutes les variétés de fer dont on fait usage. Nous la diviserons en quatre grands chapitres. Dans le premier, nous traiterons de la préparation que l'on fait subir aux minérais; dans le second, des travaux nécessaires pour en obtenir de la fonte ou du fer cru; dans le troisième, de la fabrication du fer forgé; et dans le quatrième, de la fabrication de l'acier.

CHAPITRE PREMIER.

DES PRÉPARATIONS QU'ON FAIT SUBIR AUX MINÉRAIS DE FER.

185. Les minérais sont extraits du sein de la terre, en masses ou en fragments; les masses sont rarement pures : elles sont ordinairement mélangées des matières de la gangue, et les fragments souillés de différentes terres. Il faut séparer la gangue avec le marteau, et les terres par le lavage. Le plus grand nombre des minérais, avant d'être fondus, sont soumis à un grillage préliminaire, afin de vaporiser les substances nuisibles qu'ils contiennent, d'augmenter la porosité des fragments, et

de diminuer la cohésion de leurs particules; enfin, quand ces fragments sont trop gros, comme ils exigeraient, pour être fondus, un trop long séjour dans le fourneau, on les divise en petites parties : d'où il suit que les minérais de fer doivent subir quatre préparations, savoir : le *triage*, le *lavage*, le *grillage* et le *cassage*, ou *bocardage*. La première et la quatrième préparations étant enseignées, avec beaucoup de détails, dans le cours d'exploitation des mines dont elles font partie, et devant être décrites avec soin dans l'ouvrage que doit publier le professeur d'exploitation, nous n'en parlerons ici que pour donner une première idée de ces opérations, et nous renverrons aux ouvrages qui traitent de l'extraction des minérais, les personnes qui desireront avoir de plus grands détails.

DU TRIAGE.

186. On donne le nom de *triage* à l'opération par laquelle on sépare le minérai des substances étrangères qu'il contient, lorsque cette séparation peut être faite par des moyens mécaniques. Les procédés employés pour séparer les substances étrangères varient, 1° relativement à la cohésion des matières, à leur nature et à leurs proportions; 2° relativement à la valeur du métal qu'on en retire. Les minérais de fer ne subissent l'opération du triage que lorsqu'ils sont mélangés, dans leur gîte, avec des pierres de diverses natures, et que ces pierres peuvent être facilement séparées de l'oxide ou de l'oxidule de fer que l'on veut traiter. Les variétés sur lesquelles le triage s'exécute ordinairement, sont : les fers oxidulés, les fers spathiques, les fers oxidés ou oxidulés, enfin les oxides concrétionnés et compactes.

187. Lorsque les minérais sont sortis de la mine, et que l'on peut distinguer les pierres de l'oxide de fer, par la différence de couleur que présentent ces deux substances, on sépare d'abord, à la main, les morceaux qui contiennent du minérai, de ceux qui n'en contiennent pas: souvent cette première séparation se fait dans l'intérieur de la mine; ensuite on casse, avec des masses, les gros morceaux que l'on a sortis

au jour, afin de les diviser, et de faciliter, par cette division, la séparation de la matière de la gangue de celle du minérai. Les morceaux, ainsi cassés, sont posés sur une *masse* (1); et, à l'aide d'un marteau à main, on sépare la pierre de l'oxide de fer, à laquelle elle adhère.

Les marteaux de triage sont de trois sortes : les premiers B, (pl. 5), ont la forme d'un prisme quadrangulaire emmanché par le milieu, ou par un seul bout; les seconds C, celle d'un prisme par un bout et d'un coin par l'autre; les troisièmes D, sont composés de deux coins; les biseaux des coins sont utiles, dans beaucoup de circonstances, pour séparer plus facilement deux substances adhérentes.

188. Plusieurs minérais exploités dans des lieux humides en sortent tellement recouverts de boue, qu'il est difficile de distinguer la pierre de l'oxide de fer; il faut donc laver ces morceaux avant de les trier : on fait usage, pour ce lavage particulier, d'un crible E, de forme carrée, ou circulaire, composé de fils de fer plus ou moins gros, entrelacés les uns dans les autres, à la manière des tissus de toile. Ces cribles, remplis de minérais boueux, sont plongés dans des cuves ou des baquets F, pleins d'eau, pour les y laver. Les uns sont suspendus à l'extrémité d'un lévier flexible G; les autres sont placés sur deux barres H, pour faciliter le mouvement de *va et vient*, qu'on leur donne. On trie ensuite les pierres pures, que l'on jette, pour ne conserver que celles qui contiennent assez d'oxide de fer pour en faire la séparation au marteau.

189. Si la couleur des minérais diffère peu de celle des pierres de la gangue, comme on l'observe dans quelques fers spathiques, ou lorsque les morceaux sont trop durs pour être facilement brisés par le marteau, on les expose quelque temps à l'action du feu; le grillage qu'ils y éprouvent produit trois effets distincts : il colore en rouge-brun l'oxide de fer; il augmente la porosité des minérais; il diminue la cohé-

---

(1) La masse A, (planche 5) est une pierre grosse et compacte, de calcaire dur, de granit, etc. C'est une roche dure et capable de résister aux chocs réitérés que le triage exige; le plus souvent c'est un morceau de fonte plus ou moins gros.

sion de leurs particules, et il les rend plus faciles à être cassés. C'est après le grillage, ainsi qu'on le pratique à Saint-Georges-de-Hurtière, à Allevard, etc., que ce triage s'exécute. Dans les grands établissements, où le triage est un travail long, minutieux, et qui doit être exécuté par un grand nombre d'ouvriers, on y emploie des enfants, des femmes ou des vieux mineurs; dans toutes autres circonstances, et particulièrement lorsque le minérai est vendu par ceux qui l'extraient, ce sont les mineurs ou les *grilleurs* qui exécutent le triage.

Dans les pays où les mineurs sont chargés de ce travail, ils trient le minérai qu'ils ont extrait, soit avant d'entrer dans la fosse, s'ils y entrent l'après-midi, soit après en être sortis, s'ils y entrent la nuit ou le matin : en général, le triage s'exécute dans le jour, et les ouvriers y emploient une partie du temps de leur repos.

DU LAVAGE.

190. La plus grande partie des oxides terreux sont mélangés avec des terres; quelques oxides terreux en masses, ou en gros fragments, sont couverts de boue ou de terre. Les oxides de fer terreux, caverneux et géodiques ont de la terre dans leurs cavités intérieures, dans les vides qu'elles contiennent. Les oxides terreux, en petits fragments, sont agglutinés, les uns avec des substances dures, compactes, que l'on ne peut séparer, et qu'il faut fondre avec ce minérai; les autres, avec des terres molles qui s'effleurissent à l'air, et que l'on peut enlever. Enfin, les oxides terreux en fragments, sont presque toujours mélangés et recouverts de différentes terres.

Toutes ces terres qui souillent les minérais et qui sont inutiles à leur fusion, sont séparées des oxides terreux par le lavage; mais les procédés employés pour obtenir cette séparation, diffèrent relativement à l'espèce, à la nature du minérai, et à l'adhésion de la terre.

191. Lorsque les terres sont mélangées avec l'oxide terreux en petits fragments, ou qu'elles recouvrent simplement la surface des morceaux, qu'elles y adhèrent peu, qu'elles peuvent en être facilement enlevées

par l'eau, ou être séparées et tenues en suspension par ce liquide, on emploie le simple lavage dans des réservoirs : pour cela, on creuse en terre, dans le cours d'un ruisseau I, deux ou plusieurs bassins que l'eau traverse. Ces bassins peuvent avoir une forme irrégulière; plusieurs sont recouverts intérieurement de bois K, pour retenir l'eau, les uns avec de forts madriers, les autres avec des planches épaisses. Le minérai se jette dans le premier bassin; un laveur le remue continuellement avec un *rabot* L. L'eau entraîne avec elle toutes les parties suspendues dans ce liquide; le minérai et la terre se déposent dans le deuxième bassin, et les terres, plus légères, plus fines que le minérai, et qui restent en suspension dans l'eau, sont entraînées avec elle.

Après avoir bien lavé le minérai, on le retire et on le met en tas, soit pour le faire sécher, soit pour le tamiser. Celui qui n'est sali que par la boue et l'argile qui le recouvre, ou qui est seulement mélangé avec cette terre, devient, par ce lavage seul, assez pur pour être porté au haut fourneau et y être fondu; mais lorsque le minérai est mélangé de sable, ou de pierres étrangères qui ne peuvent se diviser en parties assez fines pour être tenues en suspension dans l'eau et être entraînées par ce liquide, enfin, lorsque ces substances se précipitent au fond du bassin, et qu'elles y restent mélangées avec le minérai, on les sépare par le tamisage.

Le sable, qui a, le plus souvent, un grain plus fin que celui du minérai, c'est-à-dire, qui est réduit en poussière plus fine, passe seul à travers le tamis, lorsque les vides de celui-ci sont assez grands pour laisser passer le sable, et assez petits pour retenir le minérai.

192. Les substances mélangées avec le minérai en grains, et qui doivent en être séparées par le tamisage, peuvent être ou plus grosses ou plus fines que lui. Lorsqu'elles sont plus grosses, il faut que les mailles ou les trous du vase dans lequel on tamise, retiennent les pierres et laissent passer le minérai; lorsqu'elles sont plus fines, il faut que les mailles du tamis laissent passer le sable ou les terres seulement, afin que les grains du minérai soient retenus seuls.

On emploie ordinairement, pour ce tamisage, deux sortes d'instru-

ments : des chaudrons N, percés de trous assez gros pour laisser passer le minérai, et retenir les pierres ; des paniers O, dans les interstices desquels le sable peut passer, et sur lesquels le minérai est retenu. On pourrait employer, avec le même avantage, des tamis de fil de fer dont les mailles, de diverses grandeurs, ou de grandeurs appropriées à la nature et à la grosseur du minérai et des substances mélangées, faciliteraient la séparation que l'on se propose d'obtenir.

Dans un grand nombre de circonstances, on se sert d'*égrappoir* P, (planche 6) ; c'est une espèce de grillage de fer posé au-dessus d'un réservoir : on lui donne une inclinaison de 30° à 36° ; ce grillage communique avec un canal dans lequel est une trémie : on met le minérai dans la trémie. L'eau, en passant, l'entraîne sur le grillage où les pierres sont séparées de l'oxide de fer qui tombe dans le bassin : on le retire du bassin pour le laisser sécher et le transporter au fourneau.

Pour séparer des sables et des pierres mélangées avec le minérai, lorsque les premiers sont plus fins et les seconds plus gros que les grains d'oxide, on peut employer, avec beaucoup de succès, la laverie à gradins Q (1), dont on fait usage pour laver les minérais des décombres, et, en particulier, pour séparer les minérais qui se trouvent dans des anciennes *haldes ;* mais, au lieu d'une laverie à six grilles, comme celle de Schemnitz en Hongrie, on pourrait se contenter d'une laverie à deux grilles ; la première, pour retenir les grosses pierres, et la seconde, pour retenir le minérai. Le grillage de la première pouvant être de gros fils de fer, et celui de la deuxième de petits. On pourrait encore employer une plaque de tôle, percée de trous moins gros que les grains de la mine.

Il est inutile d'observer que, pour exécuter ce lavage avec succès, il faut qu'il existe une différence assez grande entre les grosseurs de grains des minérais et celles des substances étrangères.

193. Si les terres adhèrent fortement au minérai, soit qu'elles recou-

(1) Delius, Instruction sur l'Art des Mines, tome 2, pages 775 et suivantes.

vrent sa surface, soit qu'elles forment le gluten efflorescent qui unit les grains d'oxide de fer les uns aux autres, soit enfin qu'elles ne se délayent pas avec assez de facilité; on aide la séparation de la terre par le moyen d'un *patouillet* R.

Les *patouillets* sont composés d'une auge de bois ou de fonte, que l'on emplit d'eau par le moyen d'un courant, et dans laquelle on met l'oxide terreux : des barres de fer, fixées sur un arbre mu par l'eau, remuent continuellement les minérais; les barres détachent, par ce mouvement, la terre adhérente et la divise; l'eau, renouvelée dans cette auge, par le courant qui la traverse, entraîne, en sortant, la terre divisée et qui y est suspendue, et le minérai resté dans l'auge, en est séparé : on arrête le patouillet quand l'oxide de fer, débarrassé de sa terre, devient plus ferme, et que le mouvement de la machine éprouve trop de résistance. On vide l'eau par l'ouverture inférieure, afin qu'elle puisse entraîner, avec elle, le minérai dans le bassin auquel cette ouverture correspond. Au sortir de ce bassin, l'oxide est posé en tas sur son bord, pour qu'il puisse y sécher : on le tamise ensuite, s'il contient des substances étrangères d'une grosseur différente.

Les oxides terreux caverneux ou géodiques, qui retiennent de la terre dans leur intérieur, doivent être concassés, brisés, avant de les laver. Cette opération est exécutée à l'aide des bocards, dont on parlera ci-après.

DU GRILLAGE.

194. Les minérais de fer sont fondus crus ou grillés. Le grillage est employé pour vaporiser des substances nuisibles, pour augmenter la porosité de la substance et diminuer la cohésion de ses particules. Quelle que soit la cause qui ait déterminé le grillage, on observe que les minérais, lorsqu'ils ont été bien grillés, exigent moins de combustibles pour être fondus, et qu'ils produisent un fer plus pur.

On grille les fers oxidulés en Suède, en Piémont, dans le Val-d'Aost, en Corse, et dans la plupart des usines où on les emploie; presque tous les fers spathiques sont grillés avant d'être fondus : on en excepte

cependant ceux qui ont éprouvé, à l'air, une opération analogue à celle que le grillage produit sur la mine compacte. Les oxides oxidulés sont grillés en Suède, en Corse, dans une grande partie de l'Italie, etc.; les oxides compactes mamelonnés sont grillés dans les Pyrénées, en Angleterre, et dans plusieurs usines d'Allemagne; enfin, on grille les oxides terreux des lacs, des marais, des gazons, en Angleterre, en Suède, etc.; d'où il résulte que toutes les variétés des minérais de fer éprouvent l'opération du grillage avant d'être fondues : mais, quoique toutes ces variétés soient susceptibles d'être grillées, et qu'elles produisent toutes, après ce grillage, du fer plus pur et avec plus d'économie, cette méthode n'est cependant pas généralement adoptée. Le même minérai est grillé dans une usine, et ne l'est pas dans une autre, voisine de la première; cette différence vient de la difficulté que l'on éprouve à bien griller quelques variétés de mines de fer, et des inconvénients qui résultent souvent d'un mauvais grillage. Examinons un moment les effets que le grillage produit sur chaque espèce de minérai.

195. En exposant le fer oxidulé à l'action du feu, ce minérai paraît se combiner avec de nouvel oxigène; il augmente ordinairement de poids. Cette augmentation que l'on observe constamment, en soumettant ce minérai pulvérisé à l'action du feu, long-temps continué dans un fourneau de Coupelle, se remarque aussi dans le grillage en grand. Garney annonce que les minérais oxidulés, particulièrement les plus riches (1), augmentent de 2 à 3 pour 100. Si le grillage ne produisait que cette seule augmentation, on pourrait l'attribuer à une sur-oxidation à la surface des morceaux; mais l'effet essentiel, celui qui contribue efficacement à rendre ce minérai plus fusible, est une augmentation de volume après le grillage, que Garney (2) estime être de 15 pour 100.

(1) Als die Schreichen und Frischenden ertz.

(2) Traité de la Fonte des Mines de fer, 2e partie, chap. 4, sect. 5, lettre K, dass sein Volumen vermehrt worden, welches immer nach dem Pochen am leichtesten zu erkennen ist, und gewoehnlich bis 15 Procent betraegt, wo der Abgang von Bergarten und

Cette augmentation de $\frac{1}{6}$ environ, dans le volume, détermine une plus grande porosité, diminue la cohésion des particules de chaque morceau, les rend plus tendres et plus faciles à casser et à rompre.

Les fers spathiques bruns ou jaunâtres, diminuent constamment de poids par la calcination; cette diminution que Lampadius porte à la moitié (1) (dans une note ajoutée à l'ouvrage de Garney), est beaucoup trop considérable. Toutes les expériences faites avec soin sur cette espèce de minérai, n'ont donné que 30 à 36 pour 100 de diminution; lorsque les fers spathiques ont été altérés à l'air, qu'ils y sont brunis, ils perdent moins encore; mais comme le volume de ce minérai ne paraît pas éprouver de diminution sensible pendant qu'il laisse dégager de l'acide carbonique et de l'eau, il s'ensuit que ses particules doivent être plus éloignées les unes des autres, et que leur cohésion doit être moindre; ce que l'on remarque en effet après le grillage, par la grande facilité avec laquelle les morceaux peuvent être rompus.

Ainsi que les fers spathiques, les oxides purs laissent dégager de l'eau et de l'acide carbonique. Les oxides mamelonnés perdent, d'après Lampadius, dans la note précédemment citée, de 8 à 15 pour 100. Dans une suite d'expériences, faites avec soin, à l'école-pratique de Moutiers, on s'est assuré que ces oxides n'acquéraient une grande fusibilité que lorsqu'ils avaient perdu de 15 à 18 par 100, et qu'ils étaient devenus attirables à l'aimant. Les expériences de Bouchu, sur les fers mamelonnés de Sibérie, rapportées par l'abbé Chappe, portent la vaporisation à la même proportion. Dans le grillage que subit cette sous-espèce de minérai, elle paraît augmenter de volume; mais comme on ne s'est pas encore assuré de cette augmentation, en mesurant ce même volume avant et après le grillage, on ne peut la présenter ici que comme très-probable;

Erzkoernern, welcher in den Roeststaetten verspillt und gehoerig benutzt wird, zugleich mit eingerechnet ist.

(3) Traité de la Fonte des Mines, 2e partie, chap. 4, sect. 5, lettre L, note Y. Am mehrsten oft gegen die haelfte, verlieren die Kohlensaürehaltigen, als der Spatheisenstein und die Ocherarten, etc.

20.

mais en supposant que son volume restât le même, qu'il n'éprouvât aucune variation, la porosité devait être augmentée, et l'aggrégation de ses particules diminuée. C'est en effet ce que l'expérience prouve par la plus grande facilité à être rompu, que ces minérais acquierent par le grillage.

Les oxides compactes se comportent comme les oxides mamelonnés; et présentent un résultat analogue.

Enfin, les fers oxidés terreux perdent, par le grillage, d'après Lampadius, 20 pour 100; quelques minérais en perdent davantage. Vauquelin a analysé un ocre jaune qui a perdu 53 pour 100, par la calcination (1). En supposant que les variétés de minérais de fer ne perdissent que 16 à 20 pour 100, par le grillage, comme leur volume ne diminue pas sensiblement dans cette opération, il s'ensuit que les particules sont plus écartées, et que leur cohésion est diminuée: ce que l'expérience prouve encore.

Il suit, de l'examen que l'on vient de faire des résultats des grillages, sur toutes les variétés et sous-variétés des minérais de fer, qu'il se produit trois effets : 1° que la chaleur écarte les particules; 2° que les oxidules se combinent avec de nouvel oxigène; 3° que l'eau, l'acide carbonique et toutes les substances vaporisables se dégagent, et que ces trois effets, soit qu'ils agissent séparément, soit qu'ils agissent concurremment, produisent, pour résultat final, une désaggrégation, une plus facile réductibilité, et une plus grande fusibilité.

Le fer doux et malléable acquiert aussi, par une calcination, par une espèce de grillage long-temps continué, une désaggrégation qui fait naître des facettes, de lames plus ou moins grandes, lesquelles diminuent la malléabilité du fer, et le rendent cassant à froid.

196. Des trois effets obtenus par le grillage, la désaggrégation, l'augmentation de volume et la plus grande fusibilité, la première et la deuxième se déduisent naturellement de l'écartement des particules

(1) Cette variété était un hydrate de fer.

qui est constamment observé, soit par l'augmentation de volume sans augmentation sensible de poids, soit par la diminution du poids sans que le volume en soit altéré. Ces deux effets en produisent un nouveau, c'est de rendre les fragments plus facilement réductibles; et cela parce que la porosité étant augmentée, les gaz carbonés peuvent passer à travers la masse, et désoxider l'intérieur, en même temps que le charbon, en contact avec la surface des oxides, les réduit à l'extérieur.

Quant au troisième effet, s'il se trouve des personnes qui en veulent absolument une explication, on peut, entre plusieurs autres, leur donner celle-ci. Newton a posé en principe que toutes les substances homogènes se fondent à une température constante, pour chacune, et variable quand on les compare l'une à l'autre. C'est sur ce principe qu'il a établi les diverses températures, à l'aide desquelles on peut construire des thermomètres comparables (1). Ainsi, il regardait, 1° la glace fondante comme devant former le zéro de son thermomètre; 2° il attribuait 48^d à la fusion d'une combinaison de parties égales d'étain et de bismuth; 3°, 72^d à la fusion de l'étain; 4°, 81^d à celle du bismuth, et 5°, 96^d à celle du plomb. Ce principe a été constamment vérifié, depuis, par tous les savants qui se sont occupés de déterminer les températures auxquelles les corps se liquéfient.

En observant avec soin la fusion des corps, on a remarqué depuis, que, quelque propriété qu'aient les substances solides pour conduire et propager la chaleur, elles la perdaient au moment où elles changeaient d'état, et où elles se liquéfiaient; et que, lorsqu'un corps solide était plongé dans un milieu, d'une température plus élevée que celle qui doit le liquéfier, il ne se transmettait de chaleur, jusqu'au centre du corps, qu'autant qu'elle pouvait l'amener à une température prochaine de celle de la fusion; que le surplus était arrêté par cette surface qui s'en emparait, et qui l'employait, toute entière, à déterminer son changement d'état : que dans ce changement, il y avait

(1) Transactions philosophiques pour 1701.

toujours une quantité considérable de chaleur absorbée; que la glace, par exemple, employait pour se liquéfier, sans changer de température, une quantité de calorique égale à celle qui aurait fait monter la même quantité d'eau de zéro à 60°. Ces expériences, répétées sur le mercure, à l'Ecole Polytechnique (1), par Welter, Bonjour, Hachette et nous, ont donné un résultat presque semblable à celui de l'eau; c'est-à-dire, que la quantité de calorique nécessaire pour liquéfier le mercure, aurait élevé la température, de la même quantité de mercure liquide, de 68°. Cependant tout fait présumer que ce nombre de degrés est trop fort, et que l'on doit regarder le résultat comme semblable à celui de l'eau.

On voit, d'après ces faits, que lorsqu'un corps est exposé à une température capable de le liquéfier, cette liquéfaction sera plus ou moins rapide selon que la température sera plus ou moins élevée, et que le volume des morceaux sera plus ou moins petit.

En effet, le calorique est arrêté à la première tranche; il y est employé à la liquéfier; il ne peut en arriver à la deuxième, pour y exercer son action, que lorsque la première est entièrement fondue; alors cette seconde tranche se liquéfie à son tour, en s'emparant de tout le calorique qui la touche, et elle n'en laisse passer à la troisième que lorsqu'elle a été entièrement fondue. Or, quel que soit le temps que chaque tranche puisse mettre à se liquéfier, dans la température où les corps sont exposés, celui que mettra le morceau à se fondre sera égal au produit du nombre des tranches multiplié par ce temps; d'où il suit que la durée totale du temps sera d'autant plus grande que le nombre des tranches le sera lui-même, ou que le volume sera plus considérable.

Nous croyons inutile d'observer que plus la température du milieu sera élevée, plus les morceaux seront fondus promptement; car, dans les deux éléments dont le produit donne la durée de la fusion, savoir: le temps que chaque tranche met à se fondre, et le nombre de tran-

(1) Journal de l'Ecole Polytechnique, 1er cahier, page 123.

ches dont le morceau est composé; si l'un des deux est diminué, le produit diminue également, et cela dans la même proportion. Or, quand la température est plus élevée, la tranche est moins de temps à se fondre; donc la durée de la fusion totale est moins grande.

En grillant le minérai, on écarte les particules, on diminue leur adhésion, on produit des vides, des pores, à travers lesquels la chaleur rayonnante, la flamme, les gaz embrasés, peuvent pénétrer; ils parviennent ainsi dans l'intérieur des morceaux, ils les échauffent, et élèvent leur température an degré nécessaire pour les fondre; ils fournissent enfin, de cette manière, le calorique propre à déterminer une fusion intérieure. Dans cette circonstance, les fragments sont attaqués et fondus à-la-fois par les surfaces extérieures et par les nouvelles surfaces intérieures que les vides ont produits; la fusion en devient donc plus prompte et plus rapide (1).

197. L'effet que l'on vient de considérer, l'accélération dans la fusion, occasionnée par les espaces vides que produit le grillage, n'est pas le seul que cette opération occasionne; elle dégage, elle vaporise l'eau, l'acide carbonique, et amène les minérais à un état de composition particulier. Or, l'on sait encore que l'eau et l'acide carbonique, combinés dans le minérai, ne s'en séparent, ne se vaporisent qu'en absorbant une partie du calorique du corps, et que cette absorption diminue la température du milien.

Si, en employant une proportion de combustible et de minérai sec, on peut amener la température du fourneau an degré propre à fondre l'oxide de fer, il faudra, lorsqu'on voudra traiter un minérai humide, ou carbonaté, employer, pour amener le fourneau à la même température, une plus grande proportion de combustible.

Il serait difficile d'assurer positivement que la proportion de com-

---

(1) On observe, en dissolvant diverses substances par des liquides, combien la condensation des particules rend la dissolution plus difficile. Il n'est personne qui ne sache que le sucre candi, par exemple, se dissout beancoup plus difficilement que le sucre blanc, et que celui-ci se dissout d'autant plus facilement qu'il est plus poreux.

bustible, avec laquelle on peut fondre un minérai humide ou carbonaté, soit plus grande que la somme des deux quantités de combustible employée; la première pour griller, la seconde pour fondre le minérai sec : parce que le grillage produit deux effets qui concourent ensemble au même but, et qu'il est extrêmement difficile de séparer. Quoi qu'il en soit, le résultat définitif déduit des opérations en grand, de la fusion dans les hauts fourneaux, c'est que le grillage procure généralement de l'économie en combustible, si toutefois il est bien exécuté.

Quant à cet état de combinaison particulier auquel les oxides de fer sont amenés par l'opération du grillage, il serait possible qu'il fût tel que les minérais devinssent plus fusibles, et qu'il facilitât les compositions et décompositions qui ont lieu dans l'intérieur du fourneau; et, quoique quelques expériences nous aient convaincus que l'oxide de fer, attirable, soit plus fusible et plus réductible que les autres états d'oxidation, nous nous abstiendrons de prononcer sur les résultats en grand, jusqu'à ce que de nouveaux faits soient venus confirmer, ou infirmer, ceux que nous avons déja obtenus.

Quoique cette explication concorde assez bien avec l'état actuel de nos connaissances, nous sommes éloignés de la présenter comme exacte et rigoureuse; il serait possible que cette désaggrégation contribuât encore, de quelqu'autre manière, à favoriser la fusion; mais il faut, avant de lui attribuer de nouveaux effets, attendre que l'expérience nous ait instruit.

198. De ce que les morceaux, exposés à une température propre à les fondre, sont d'autant plus promptement fondus qu'ils sont moins gros, il ne faut pas conclure qu'en pulvérisant le minérai on accélérerait sa fusion, et que l'on consumerait moins de combustible (1). « L'expé« rience, dit Garney (2), a appris que, lorsque le minérai est réduit en

(1) On pourrait encore continuer ici la comparaison de la dissolution des corps dans des liquides. Ainsi, le sucre, par exemple, se dissout plus facilement lorsqu'il est en petits morceaux, que lorsqu'il est réduit en poudre.

(2) Abhandlung vom Bau und Betrieb der Hohoefen, pages 183 et suiv.

« poudre trop fine, 1° qu'il fond trop vite, et qu'il étouffe en quelque « sorte le feu; qu'il faut, pour éviter ce mauvais effet, le mêler à une « substance moins fusible; 2° qu'après l'avoir jeté dans le fourneau, la « flamme en emporte souvent une partie, laquelle, quoique petite, ne « laisse pas que d'occasionner une perte sensible; 3° qu'il passe trop « facilement à travers les charbons, ce qui fait que, souvent, il s'accu« mule plus dans une partie; que dans une autre, il n'y a que des char« bons, ce qui rend très-inégale la marche du fourneau. » Malgré les inconvénients que présentent les minérais pulvérisés, il est cependant des circonstances où il est avantageux de les réduire en poudre. Garney cite pour exemple les mines de Danemora en Roslagie, de Taberg en Smolande, etc., ce qui ferait croire qu'il faudrait, pour chaque minérai, que la grosseur des morceaux fût proportionnée à leur fusibilité et aux dimensions des fourneaux. Nous nous occuperons de cette question en traitant de la fusion des oxides de fer.

199. Plusieurs minérais sont portés au fourneau après avoir subi le grillage qui leur est nécessaire; d'autres sont éteints dans de l'eau; quelques-uns restent exposés pendant un temps plus ou moins long à l'action de l'air et de l'eau : ces procédés ont divers avantages, selon la nature des minérais et celle des substances étrangères qui y sont combinées ou mélangées.

Les fers oxidulés purs et compactes que l'on grille en Piémont, dans le Val-d'Aost, sont jetés, encore chauds, dans un réservoir plein d'eau; le minérai ainsi éteint, sétonne, se fendille; sa porosité augmente ainsi que son volume; il s'y produit des fentes intérieures que le calorique rayonnant peut traverser pour accélérer la fusion.

S'il se forme, pendant le grillage, des sulfites ou des sulfates de fer, ceux-ci sont dissous par l'eau. Les minérais à gangue calcaire, dans lesquels cette terre est en trop grande proportion, en sont débarrassés en les éteignant dans l'eau, après leur avoir fait subir un grillage assez prolongé pour amener ce carbonate à l'état de chaux.

Ceux qui sont mélangés de pyrites et dans lesqnels le soufre n'a pas été entièrement dégagé, donnent naissance, pendant une longue expo-

sition, à l'air et à l'eau, à des sulfates que l'eau dissout et entraîne. Dans les fers spathiques, qui contiennent des proportions de magnésie plus ou moins grandes, il se forme du sulfate de magnésie qui effleurit à la surface des tas de minérais, et que l'on peut recueillir. Cette terre se trouve, par cette exposition, dégagée et séparée de l'oxide de fer.

Il est des fers spathiques dont l'état de composition et de désaggrégation est tel qu'ils ne paraissent pas éprouver d'altération sensible en les exposant, pendant long-temps, à l'action des météores, et d'autres qui brunissent promptement à l'air, y perdent une partie de l'eau, de l'acide carbonique et de la magnésie qui entraient dans leur composition; il en est enfin dont les pyrites qui y sont mélangées se décomposent, ce qui produit des sulfates que les eaux entraînent.

Les premiers fers spathiques doivent être grillés pour être fondus avec avantage. C'est la méthode que l'on suit à Allevard, à Saint-Georges-de-Hurtière, en Styrie, en Carinthie, dans le Tyrol, et dans beaucoup d'autres lieux. Quant aux seconds, il suffit de les retirer de la mine, de les sortir au jour, d'en former des tas, et de les laisser plusieurs années exposés à l'action de l'air et de l'eau, ainsi qu'on le fait à Eisen-artz.

En général, il paraît qu'il est avantageux de laisser les minérais grillés exposés à l'action de l'air pendant un certain temps; ils s'y améliorent; et il est remarquable, dit Garney (1), qu'un minérai augmente en bonté et en poids, lorsqu'après le grillage, et principalement après avoir été bocardé, il reste pendant long-temps en plein air, sous un hangard, avant d'être porté au fourneau : on peut non-seulement en charger une plus grande quantité, proportionnellement au charbon que l'on brûle, mais encore il rend plus de fer et il fond plus facilement qu'un minérai qui vient d'être grillé (2). Hermann (3) conseille d'éteindre, dans l'eau, le minérai après le grillage. *Ce procédé qu'il a introduit avec le plus*

---

(1) Fonte de Minérais de fer, 2[e] partie, chap. 4, sect. 5, lettre N.

(2) Annales des Arts et Manufactures, tome 13, page 124.

(3) Systematische Eisen-hutten-kund, pages 5 et 9.

grand succès dans les mines impériales, a l'avantage d'empêcher que le fer qui en provient ne soit cassant à froid et à chaud.

200. Les minérais se grillent avec du gros-bois, avec des branchages, des fagots, avec du charbon de bois, avec de la houille; nous ignorons s'il existe des usines dans lesquelles on fasse usage de la tourbe pour griller les minérais de fer; mais, dans le cas où ce combustible ne serait pas encore employé, il serait bon d'en indiquer et d'en conseiller l'usage. Un grand nombre de minérais n'exigent, pour être grillés, qu'une température égale à celle que l'on emploie pour calciner la chaux, et la chaux se calcine facilement avec de la tourbe.

Tiemann distingue quatre sortes de grillages : 1° à l'air sur une surface dressée ou unie; 2° sur des aires entourées de murs et à découvert; 3° sur des aires murées et recouvertes, sous des hangards; 4° dans des fourneaux de réverbère. Nous allons examiner séparément ces quatre sortes de grillages.

Du Grillage à l'air libre.

201. On dresse le sol et l'on forme une surface quadrangulaire *a*, (planche 6), dont les dimensions varient avec la quantité de minérai que l'on doit griller. Quelques-unes de ces surfaces sont carrées; elles ont 12 pieds de côté; d'autres, comme en Angleterre, ont la forme d'un parallélogramme de 50 à 150 pieds de long sur 12 à 15 de large. Il faut choisir, comme pour faire le charbon, un terrain sec, afin que la chaleur soit appliquée toute entière à torréfier le minérai. Lorsque la terre est humide, une partie du calorique est employée à vaporiser l'humidité du sol; ce qui occasionne une consommation inutile de combustible. Lorsque le terrain n'est pas parfaitement sec, on le couvre de scories, de gravier, de résidu des grillages précédents, pour empêcher le contact immédiat de l'humidité.

Le minérai et le combustible se placent, sur l'aire, par couches successives : l'arrangement des couches et leur épaisseur varient suivant la nature du combustible et la fusibilité du minérai.

Dans les grillages avec du charbon *b*, on pose d'abord, sur la terre,

une couche de minérai; celle-ci est recouverte d'une couche de charbon : on met ensuite une couche de minérai, une autre de charbon, et cela successivement jusqu'à ce que le tas ait 6 à 7 pieds de haut : on le recouvre alors avec du *fraisil* ou avec du menu charbon.

Les couches de charbon ont de 4 à 6 pouces d'épaisseur; celles du minérai de 6 à 8.

Pour griller avec du charbon, on fait usage de fraisil, des poussières de charbon, des menus charbons qui restent dans la charbonnière, et qui ne peuvent avoir d'autre utilité; c'est une manière avantageuse de les employer.

Lorsqu'on grille avec du charbon ou avec de la houille *c*, la première couche, celle que l'on pose sur le sol, est en bois ou en houille; la deuxième en minérai; la troisième en combustible, et cela successivement; le tas est recouvert de fraisil.

Dans le grillage en bois, la couche inférieure a quelquefois jusqu'à 15 pouces d'épaisseur; la première couche de minérai 18 à 20; les autres vont en diminuant.

La première couche de houille est de 5 à 8 pouces d'épaisseur; celle de minérai de 15 à 20, et les autres sont beaucoup moindres.

Dans quelques grillages, on fait la première couche en bois; la deuxième en minérai; la troisième en charbon : on place ensuite du minérai et du charbon jusqu'à ce que le tas soit terminé.

Le feu se met, aux grillages en bois et en houille, lorsque le tas est terminé : on l'allume par le bas, et il gagne successivement toute la masse. Le feu, dans les grillages au charbon, se met à la couche du milieu, avant qu'elle ne soit couverte de minérai, et l'on continue de placer les couches supérieures et successives de minérai et de charbon, pendant que ce dernier s'allume. Comme les couches de minérai sont peu épaisses, le feu se communique facilement dans le haut et dans le bas à-la-fois.

Il faut conduire les grillages à l'air libre avec beaucoup de soin et de précaution. La direction du vent peut faire naître, dans le tas, des variations de température capables de produire de grandes inégalités

dans le grillage. Il faut, comme pour la conduite du feu dans la carbonisation, ouvrir et fermer des registres qui égalisent la température; il faut même quelquefois, d'après le conseil de Tiemann (1), établir des paravents pour rompre et détruire l'action du vent quand il est trop fort.

Du Grillage dans une aire fermée.

202. La difficulté que présente la conduite du feu dans les grillages à l'air libre, a déterminé, dans le plus grand nombre d'usines, à élever des murs sur l'emplacement du grillage.

Les fourneaux de grillage sont alors formés de deux murs parallèles *d*, libres ou fermés par un troisième *e*, comme en Suède; ou bien ils ont la forme d'un prisme ou d'une pyramide tronquée. Les prismes sont rectangulaires *f*, circulaires *g*, ou elliptiques *h*; les côtés du rectangle varient entre 6 et 36 pieds. Dans le comté de Foix, les côtés des carrés, ou les diamètres des cercles et des ellipses, varient entre 10 et 12 pieds. La hauteur de tous ces fourneaux est entre 4 et 12 pieds. En général, ces différences dans les dimensions dépendent de la quantité de minérai que l'on veut griller à-la-fois, et de la manière dont le grillage doit être conduit.

Dans quelques-uns de ces fourneaux, on pose le combustible sur le sol; et l'air nécessaire pour le brûler pénètre par une porte de 3 à 6 pieds d'ouverture, qui sert d'entrée aux fourneaux. Quelques-uns, comme ceux de Suède *l*, ont des ouvertures *i*, percées dans le bas du mur pour faciliter le courant d'air; quelques autres (2) ont un sol formé avec des plaques de fonte perforées *k*, (pl. 7) de 12 à 14 pouces de côté. Ces plaques sont posées sur de petits murs élevés d'un pied de hauteur; c'est sur ces plaques que l'on met le minérai à griller. Le de-

(1) Sistematische Eisen-hutten-kund, §. 440.

(2) Systematische Eisen-hutten-kund, §. 445, et Journal des Arts et Manufactures, 13e volume, page 121.

vant du fourneau est garni de deux portes d'aérage qui communiquent au-dessous des plaques, moyennant des ouvertures faites au petit mur.

Le premier et le troisième fourneaux peuvent être entaillés dans le roc *r;* les deuxièmes doivent toujours être sur un terrain nu; les premiers peuvent être construits en pierres dures, en briques, en pierres de laitier, ou en *pisé,* c'est-à-dire, en argile et sable battus et comprimés.

On ne fait ordinairement usage des premiers fourneaux que pour griller avec du bois; les deuxièmes servent à griller avec du bois, de la houille ou du charbon; et les troisièmes, avec du fraisil ou avec du charbon.

En faisant usage des premiers fourneaux, on est dans l'habitude de placer sur le sol plusieurs grosses pièces de bois *ii,* sur lesquelles on en arrange de plus petites pour le grillage; les premières servent à faciliter la circulation de l'air, si nécessaire à la combustion.

203. Les fourneaux pyramidaux ont toujours leur ouverture supérieure plus large que leur base; ils ont la forme d'une pyramide tronquée, posée sur sa troncature; souvent la pyramide se prolonge jusqu'au sol, d'autres fois leurs faces sont brisées près du sol, et elles forment un petit prisme sur lequel la troncature est posée.

Ces fourneaux *l, m, n,* sont en usage en Angleterre, dans les Pyrénées, dans les Alpes, etc.; ils ont une porte par le bas pour faciliter l'entrée dans l'intérieur et pour sortir le minérai quand il est grillé. La première couche de combustible ou de minérai se pose sur le sol *l.* Dans les provinces de Galles, en Angleterre, on élève une banquette *n,* sur le fond du fourneau, à 19 pouces de hauteur. Cette banquette sert de base à une voûte de gros fragments de minérai ou de brique. C'est sur cette voûte que se place le minérai par couches successives, dans lesquelles les morceaux diminuent de grosseur à mesure que les couches s'élèvent. Le feu se met sous la voûte. Le combustible dont on se sert est ordinairement du bois en bûches ou en fagots. Lorsqu'on fait usage de houille, on construit une grille *o,* au-dessous de laquelle est une voûte pour déterminer le courant d'air nécessaire à la combustion.

La hauteur et le diamètre de ces fourneaux varient entre 8 et 12 pieds.

Lorsqu'on les échauffe avec du charbon ou du bois, les fourneaux sont moins hauts, et ils ont plus de largeur.

Du Grillage sous des hangards.

204. Les fours à griller, que l'on vient de décrire, sont exposés aux intempéries de l'air. La pluie, la neige, qui tombent sur la surface supérieure, introduisent de l'eau dans le grillage, et une partie du calorique, produit par la combustion, est employée à la vaporiser. Cet emploi de chaleur inutile retarde le grillage et le rend souvent incomplet. On remédie à cet inconvénient en construisant des hangards pour mettre les fourneaux à couvert.

Dans les mines qui produisent du minérai en abondance et qui doivent avoir plusieurs fourneaux de grillage, on accole ceux-ci les uns aux autres *p*, et on les réunit sous un même toit; lorsque les fourneaux sont en petit nombre, et éloignés, on se contente de construire un petit appentis *q* sur chacun d'eux. Ce petit convert suffit pour empêcher les eaux ou la neige de tomber sur l'ouverture du fourneau et de nuire au grillage.

Les hangards élevés au-dessus des fourneaux n'ont aucune influence sur leur forme ni sur le mode de grillage que l'on emploie; ils ne servent qu'à détruire les mauvais effets de l'eau et de la neige qui mouillent le minérai et le combustible, et à procurer un grillage plus uniforme.

Du Grillage dans des fourneaux de réverbère.

205. On appelle *fourneaux de réverbère* ou *à réverbère* s (1), ceux dans lesquels la flamme, en sortant du foyer, parcourt un canal plus

(1) Ces deux expressions sont également employées; mais Duhamel, Lonier, Monge, Chaptal, etc., se servent de la dénomination *fourneau de réverbère;* Bonnard, Miché et plusieurs autres se servent de l'expression *fourneau à réverbère;* enfin, O'Relly et quelques autres les appellent *fours à réverbère.* Ce sera la première expression que nous emploierons.

ou moins long avant de s'élever et de sortir par la cheminée. La flamme, dans son mouvement, touche les substances qui sont dans le canal et les échauffe. Si les matières placées sur la sole n'étaient échauffées que par le passage de la flamme, le nom de réverbère que l'on donne à ces fourneaux serait impropre; mais cette flamme qui touche également toute la surface du canal, l'échauffe, la rougit; et cette surface imprégnée de chaleur la réfléchit sur la matière que le fourneau renferme. Cette chaleur rayonnante augmente la température du métal, et c'est cette réflexion qui leur a fait donner le nom de *fourneaux de réverbère :* on divise ordinairement l'intérieur de ces fourneaux en trois parties; 1° foyer *t;* 2° sole *u;* 3° cheminée *v*. Chacune de ces parties a des dimensions qui dépendent de l'usage auquel elles sont destinées. Dans les fourneaux à griller les oxides de fer, la sole a ordinairement de 3 à 8 pieds de longueur. Le minérai se charge par une ouverture nommée *trémie*, placée dans la voûte du fourneau, ou par une porte pratiquée sur le côté; on l'étend sur la semelle de la sole avec un *rable* de fer ou avec un ringard recourbé, que l'on introduit par une porte percée sur le devant, au-dessous de la cheminée. L'épaisseur de la couche du minérai doit être de 4 à 6 pouces; on le remue afin d'en exposer toutes les parties à l'action du feu. Lorsqu'il est grillé, on le retire par la porte de devant, et l'on en replace de nouveau; par ce moyen on profite de toute la chaleur que le fourneau a déja acquise. L'usage des fourneaux de réverbère est conseillé par plusieurs métallurgistes, pour griller les oxides terreux en petits fragments. Nous ignorons si ces conseils ont été suivis, et s'il serait bien économique de les suivre : c'est une question que nous croyons inutile de discuter dans ce moment; il suffit d'observer que l'on grille très-bien, en Suède, sur des aires fermées, les oxides terreux en fragments plus ou moins petits, que l'on retire des lacs et des marais.

Les fourneaux de réverbère peuvent être chauffés avec de la houille ou du bois; et comme il s'y perd beaucoup de chaleur par la cheminée, on pourrait en construire à plusieurs étages *x*. Le grillage serait commencé dans le fourneau le plus élevé, et le minérai descendrait successivement dans les fourneaux inférieurs qui sont plus échauffés : on emploierait,

par ce moyen, sinon tout, au moins la plus grande partie du calorique dégagé.

Du degré de grillage que les minérais doivent avoir, et des moyens que l'on emploie pour l'obtenir.

206. On a vu précédemment que les minérais de fer doivent être grillés, 1° pour vaporiser des substances nuisibles; 2° pour augmenter leur porosité et faciliter leur réduction; 3° pour diminuer leur cohésion et augmenter leur fusibilité; le plus souvent pour ces trois objets réunis.

Plusieurs variétés de mines de fer, telles que les fers oxidulés, les fers spathiques, quelques oxides purs, contiennent des pyrites ou fer sulfuré; quelquefois, mais rarement, du mispikel ou pyrites arséniacales. Comme ces deux substances nuisent à la qualité de la fonte et du fer que l'on en obtient, il est essentiel de les vaporiser avant de fondre le minérai.

Les sulfures de fer ne laissent vaporiser, par l'action du feu en vaisseaux clos, que le tiers environ du soufre qu'ils contiennent; le surplus ne peut être dégagé qu'en se combinant à de l'oxigène pour former de l'acide sulfureux ou de l'acide sulfurique. Le premier se volatilise, le deuxième se décompose, à une haute température, en acide sulfureux et en oxigène, et ces deux substances se volatilisent séparément. La nécessité de combiner l'oxigène avec le soufre, pour le vaporiser, a été prouvée par les belles expériences de l'ingénieur des mines, Gueniveau (1), et depuis, par celles que Gay-Lussac a communiquées à l'Institut, dans un mémoire sur la décomposition de l'acide sulfurique (2).

Il résulte de ces faits que, pour vaporiser complètement le soufre des pyrites mélangées avec les minérais de fer, il faut qu'elles soient continuellement en contact avec l'oxigène. Cette vérité avait été remarquée depuis

(1) Journal des Mines, n° 121, pages 5 et suivantes.

(2) Mémoires de la société d'Arceuil, tome 1er, page 215.

long-temps par les praticiens, quoiqu'ils n'en connussent pas la raison. Garney (1) observe que, lorsque les minérais à griller contiennent beaucoup de substances à volatiliser, il faut un plus grand courant d'air que celui qui a lieu dans le grillage ordinaire, et il décrit, dans le paragraphe qui suit, le mode de grillage à courant d'air que l'on doit employer dans cette circonstance. Lorsqu'on ne se propose, dans le grillage, que de dégager l'eau et l'acide carbonique que le minérai contient, il suffit d'établir un courant d'air propre à entretenir la combustion, d'amener la température à un degré capable de vaporiser ces substances, et d'enlever, par sa combinaison avec du charbon, de l'oxide de carbone ou de l'hydrogène carboné, l'oxigène surabondant; il faut avoir soin, lorsque l'on grille, de proportionner le combustible à la marche de l'opération, à la fusibilité du minérai, afin que le grillage de chaque morceau s'étende jusqu'au centre, et qu'en le cassant on n'aperçoive pas de noyau mal calciné; mais il faut en même temps éviter que le minérai n'éprouve un commencement de fusion, qui augmenterait la cohésion de ses particules, et qui, par-là, diminuerait sa fusibilité, et produirait un fer moins abondant et d'une moins bonne qualité.

207. Le degré de calcination est affirmé par tous les métallurgistes qui ont été à même de suivre les détails des travaux en grand, et qui ont pratiqué eux-mêmes les grillages. Jars et Duhamel disent (2) « que « l'experience démontre journellement que, lorsqu'un minérai de fer a « été trop attaqué par le feu, dans le rotissage, il produit moins de « métal. » Pour que la mine soit cuite bien à point, observe Diétrich (3), on exige qu'elle sorte gercée du recuit; qu'elle paraisse friable, grenue au toucher et point vitreuse. Tiémann (4) remarque que, lorsque le minérai est trop grillé, la séparation est trop difficile; et, dans un

(1) Abhandlung vom Bau und betrieb der hohoefen. 2e volume, page 171.

(2) Voyage métallurgique, 1er volume, page 8.

(3) Description des gîtes des minérais, 1re partie, page 42.

(4) Sistmatische Eissen-hütten-kund, §. 440.

article français, traduit presqu'en entier de Tiémann (1), on ajoute que, « par un grillage mal conduit, le minérai se vitrifie, et alors le produit « du métal, au lieu d'être augmenté, se trouve diminué. »

Enfin, Garney dit expressément (2), « de quelque manière que le « grillage soit effectué, il faut proportionner la chaleur à la nature du « minérai que l'on doit traiter, de manière qu'il soit bien grillé dans « toutes ses parties, et que la surface des fragments ne soit pas vitri- « fiée. »

Non-seulement la vitrification du minérai, dans le grillage, diminue sa fusibilité et occasionne une plus grande dépense de combustible, mais encore la fonte qui en provient est moins abondante; elle est plus difficile à affiner, et elle produit un fer d'une moins bonne qualité.

Ce triple désavantage, qui est affirmé par Garney et par tous les métallurgistes instruits qui ont écrit sur le fer, pourrait être expliqué de cette manière.

Le minérai trop grillé, qui s'est fondu pendant le grillage et qui s'est ensuite agglutiné pour former des masses denses et compactes, ne permet plus au gaz hydrogène carboné, aux oxides de carbone, etc., de pénétrer dans son intérieur pour le désoxider; son oxigène ne peut donc plus être enlevé que par leurs faces extérieures, les seules qui soient exposées à l'action du carbone et de l'hydrogène. Il arrive de-là, qu'il faut à ce minérai beaucoup plus de temps pour être réduit qu'il n'en faut à celui qui, ayant été bien grillé, est, par cette opération, criblé de pores, de fentes et d'interstices. Alors les fragments vitrifiés et non réduits, arrivent dans la partie du fourneau où la fusion s'opère; ils s'y fondent en retenant encore une grande partie de leur oxigène, et l'oxidule liquide s'infiltre à travers le combustible qui remplit l'ouvrage; il tombe avec son oxigène dans le creuset. D'abord il rencontre la surface du laitier qui recouvre le bain de fonte : si les scories sont pauvres et

(1) Journal des Arts et Manufactures, 13[e] volume, page 119.

(2) Abhandlung vom Bau und betrieb der hohoefen, 2[e] partie, chap. 4, §. 5, lettre G.

très-silicées, elles dissolvent une portion de l'oxidule dans son passage, le reste se mêle ou se combine avec la fonte, et produit, ou une fonte inégale qui donne un très-mauvais fer, ou une fonte très-blanche et très-oxigénée que l'on ne peut affiner qu'avec une extrême difficulté.

208. L'arrangement du combustible et du minérai dans les fourneaux, la conduite du feu pendant le grillage, ont été décrits avec beaucoup de soin par les métallurgistes qui ont traité de cette opération : on pourrait donc renvoyer à leurs ouvrages les personnes qui desirent les connaître; mais, afin de ne rien laisser à desirer sur ces détails, nous allons les transcrire de la traduction que l'ingénieur des mines, Daubuisson, a faite de l'excellent ouvrage de Garney (1) : « 1° On pose longitudinalement de grosses pièces de bois de 2 à 3 décimètres d'épaisseur *i*, *i*, *i*, « afin d'entretenir un courant d'air; 2° on place dessus, transversale-« ment, des bûches aussi près que possible les unes des autres, jusqu'à « ce que le bûcher soit à 15 centimètres au-dessous du haut des murs; « 3° on place de distance en distance, aux coins et le long des murs, « des pièces de bois que l'on ôte lorsque le tas est bien établi; les vides « qu'elles laissent servent de soupiraux pour la circulation de l'air; 4° on « les couvre d'une couche de fraisil ou de menu charbon, de 15 centi-« mètres d'épaisseur; 5° on place une couche de minérai, puis une cou-« che de charbon ou de menu bois, et on les alume; on élève ce tas plus « ou moins haut, selon que le minérai doit être plus ou moins forte-« ment grillé; 6° s'il exige un fort grillage, on le couvre aussitôt de « poussière de charbon; mais s'il s'agit d'un minérai ordinaire, on n'y « met une enveloppe que lorsque le feu est bien pris, et que le tas com-« mence à s'affaisser.

« Il faut observer, 1° de mettre les plus gros fragments de minérai « immédiatement sur le bois ou dans le milieu du tas, parce que c'est « la partie où la chaleur est la plus forte; on met ensuite le minérai qui « n'a pas suffisamment subi l'action du feu dans le précédent grillage;

(1) Abhandlung vom, etc., 2e partie, chapitre 4, §. 6.

« on met après les menus débris et les parties terreuses du minérai, pour « couvrir le tout, afin de conduire la chaleur à volonté; 2° on place les « fragments de minérai, qui sont vers les bords, aussi régulièrement qu'il « est possible, comme dans une maçonnerie sèche, afin que le minérai « ne s'affaisse pas trop tôt; 3° cette disposition soignée des fragments « doit avoir lieu principalement autour des évents; 4° enfin, vis-à-vis « la porte, on place intérieurement une grosse pièce de bois, afin qu'elle « ne se consume pas trop vîte, qu'elle soutienne le minérai et l'em- « pêche de s'écrouler; à son défaut, lorsque le feu a pris, on peut murer « l'ouverture avec de la pierre calcaire : on fait cette maçonnerie un peu « serrée, de manière à ce que la pierre puisse être un peu calcinée.

« On met le feu à environ deux mètres en avant de l'ouverture, et cela « en introduisant du bois allumé entre les pièces longitudinales. De cette « manière le feu prend à-peu-près également en tous sens : à mesure que « le bois brûle, le minérai s'affaisse; l'affaissement a lieu dans l'endroit « où l'on a mis le feu; il se propage successivement jusqu'aux extré- « mités du fourneau. Afin que la grosse pièce de bois, qui est devant « l'ouverture, ne se consume pas trop vîte, on la mouille de temps à « autre; le feu, par ce moyen, ne se porte pas trop rapidement vers « l'extrémité du mur, ce qui multiplierait trop les soins qu'il faut avoir. « On tient bouchés, soit avec du minérai, soit avec de la pierre calcaire, « les évents qui sont vers cette extrémité, et l'on couvre le tas avec de « la poussière humide : on le laisse couvert ainsi jusqu'au moment où « l'on veut y mettre le feu. On favorise la propagation du feu, lorsqu'on « le juge convenable, avec du poussier bien sec, ou, plus économique- « ment, avec du laitier, au moment où il vient de couler du haut four- « neau. Il faut faire en sorte, en conduisant le grillage, que le minérai en « s'affaissant, s'incline vers le point où l'on a commencé à mettre le feu; « ce qui se fait en augmentant ou en diminuant, selon la convenance, « la chaleur à l'aide du poussier : cette manipulation demande un peu « d'habitude, mais elle est bientôt apprise. Cependant quelque soin que « l'on prenne, il reste toujours dans quelques parties du tas, et princi- « palement vers les coins, des portions de minérai qui doivent être « repassées à un second grillage.

« Quoique, d'après l'expérience que j'ai acquise dans cette partie, dit « Garney, la méthode que je viens de décrire soit celle qui procure « le grillage le plus uniforme et en même temps le plus simple et le « plus économique, cependant elle ne peut servir que pour les minérais « qui ne contiennent pas une grande quantité de substances nuisibles « à volatiliser : elle sert principalement pour les minérais suédois. La « proportion de combustible ou de minérai varie pour chacun d'eux, « et l'on ne peut rien dire de général à ce sujet. Ainsi, le minérai de « Tabergen Smoland exige, pour être bien grillé, deux fois autant de « bois qu'un autre; que l'hématite d'Oeja, dans le district de Nora, par « exemple. »

Dans les Pyrénées, on consume, pour griller un quintal de minérai, de 1 à 3 livres de bois, et de 3 à 4 livres de charbon; en Piémont, dans le Val-d'Aost, on consume également de 1 à 3 livres de bois et de 4 à 5 livres de menu charbon par quintal de minérai.

209. Quant à la mine limoneuse, voici la méthode pratiquée en Suède, telle que Garney l'a décrite (1). On place sur le sol de l'aire deux ou trois gros troncs d'arbres; on en fixe deux autres pareils par-dessus, de manière que le tout forme un carré; on place sur les deux troncs inférieurs et entre les deux troncs supérieurs, une couche de petit bois, de manière que l'espace en soit rempli; enfin, on met sur les bords, de plus gros bois que l'on arrange en croix. Lorsque le bois est bien allumé, quatre personnes, une de chaque côté, jettent, avec des pelles de bois armées de fer, le minérai sur le brasier, qu'elles ont soin de remuer, afin que la mine n'éprouve pas un feu trop fort et ne se scorifie pas; plus le feu est fort dans un endroit, plus on y jette de minérai; on continue ce travail jusqu'à ce que tout le bois soit consumé. Dans une opération bien conduite, lorsqu'il n'y a pas de vent, on grille quatre à cinq cents tonnes de minérai avec cinq ou six cordes de bois; c'est un demi-stère de bois par mètre cube de minérai (donc environ 12 livres de bois, ou 2 livres $\frac{4}{10}$ de charbon par quintal de minérai).

(1) Abhandlung vom Bau und betrieb, etc., 2[e] partie, chap. 4, §. 8.

Swedemborg dit, qu'en Dalécarlie, le lit de combustible est formé de gros arbres que l'on couvre de menu bois, puis de minérai; et que, lorsque ce dernier est grillé, on dérange le bois pour faire tomber par-dessous, le minérai grillé, après quoi on remplit le vide de grosses pièces avec de menu bois que l'on recouvre ensuite de minérai. Lorsque celui-ci est grillé, on le fait tomber comme le premier; on continue cette manipulation aussi long-temps que les arbres, n'étant pas trop attaqués, peuvent contribuer au grillage de nouveaux minérais.

On voit, par ces détails, que les mines des marais, des lacs, que les oxides terreux en petits fragments, peuvent être grillés, soit sur un air libre, soit dans des fourneaux ouverts, comme les autres espèces. Blumhof, traducteur de Garney, observe, dans une note ajoutée à la description de ce procédé, que cette méthode de griller ne peut être mise en usage que dans des pays très-riches en bois, et que l'on pourrait y substituer avec avantage des fours à sécher, à l'instar des fourneaux de réverbère dont on se sert en Hongrie. Nous pensons qu'il faudrait, avant de prendre ce parti, comparer la dépense en combustibles que ces deux méthodes exigent. Pour griller une charretée de mine, que l'on peut estimer à quinze quintaux, on consume, d'après Swedemborg, une aune cube, ou 9261 pouces cubes de bois; donc 618 pouces cubes par quintal; si l'on suppose que le poids du bois soit égal à celui de l'eau, il en faudrait environ 25 livres; mais comme on brûle du sapin pour cette opération, et que la densité de ce bois est environ moitié de celle de l'eau, la quantité de bois brûlé, pour griller la mine des marais, dans des fourneaux ouverts, en Angermanie, est de 12 à 13 livres par quintal de minérai; ce qui équivaut à 2 livres $\frac{1}{2}$ de charbon : les mines des Pyrénées et celles du Piémont emploient de 1 à 3 livres de bois et 3 à 5 livres de charbon par quintal de minérai. Elles consument donc plus d'un tiers en sus de celles des lacs et des marais, grillées à l'air libre.

DU CASSAGE, OU BOCARDAGE.

210. On a vu, en traitant du grillage des minérais, qu'il est nécessaire, pour accélérer leur fusion, qu'ils soient réduits en petits fragments,

et que la grosseur la plus ordinaire et la plus favorable à la fusion est celle d'une noix. Ce cassage, après le grillage, présente deux avantages. Le premier, qu'il facilite la distinction et la séparation, 1° des parties qui ont été mal grillées et qui doivent subir un second grillage; 2° des pierres renfermées dans l'intérieur des morceaux. Le scond avantage est que, les fragments exposés à l'air jouissent plus complètement de son action, qu'ils se débarrassent plus facilement des substances que l'air et l'eau séparent, et qu'ils acquièrent plus promptement cette grande fusibilité que plusieurs variétés obtiennent par cette exposition.

Le cassage se fait de trois manières : 1° à la main; 2° au gros marteau; 3° au bocard.

On exécute le cassage à la main comme le triage : d'abord on brise les plus gros morceaux avec une masse de fer, et l'on place ensuite les fragments qui en résultent sur un *bloc* de pierre dure, ou de fonte, pour le diviser de nouveau avec un marteau à main plus ou moins gros.

Le cassage de la deuxième manière s'exécute à l'aide d'un gros marteau A, qu'une roue mue par l'eau, fait élever : ce marteau est ordinairement de fonte de fer; il tombe sur une grande masse de fonte, entourée de planches en forme d'auge, dans laquelle on jette le minérai. Un ouvrier est chargé de surveiller le travail du marteau, et de jeter dans l'auge le minérai qui doit être cassé, de retirer celui qui l'a été, de le passer à travers un grand crible ou une *claie*, pour en séparer les morceaux qui doivent être cassés une seconde fois. Un ouvrier, à l'aide du gros marteau, peut casser, dans sa journée, seize à vingt tonnes de minérai, tandis qu'il n'en casse ordinairement que deux à quatre au marteau à main.

Le *bocard* B, (planche 8) dont on fait usage, dans la troisième manière, pour casser le minérai cru ou grillé, est composé de trois à cinq pilons, soulevés par des cammes emmanchées dans un arbre qui les fait tourner. Ces pilons sont composés d'une pièce de bois de 12 pieds de long sur 4 à 5 pouces d'équarrissage, terminés par un gros morceau de fonte, fixé dans la partie inférieure, et taillé en pointes de diamant C; les pilons

garnis de leur masse de fonte, du poids de 70 à 80 livres, sont placés entre des litaux; ils y sont maintenus verticalement. A 3 ou 4 pieds de hauteur, on fixe, sur ces pilons, un mentonnet sous lequel la camme F, passe pour les enlever.

Les pilons tombent dans une auge de bois, garnie dans le fond de plusieurs bandes de fer; une petite caisse C, pleine de minérai, est placée au-dessus de l'auge; elle communique au pilon du milieu par le moyen d'un lévier sur lequel tombe un second mentonnet qui frappe ce lévier toutes les fois qu'il n'y a pas assez de minérai sous le pilon; le choc fait éprouver à la caisse une secousse qui fait tomber du minérai dans l'auge. Sur le devant de l'auge est un grillage D, formé de plusieurs barreaux triangulaires de fer ou de fonte; ils sont éloignés d'un pouce les uns des autres; c'est à travers l'écartement de ces barreaux que passe le minérai concassé. L'oxide de fer est pilé à sec lorsqu'il a été grillé.

211. Nous vîmes en Carinthie, chez le baron d'Eggersche, dans le voyage que nous y fîmes en 1782, par ordre du Gouvernement, un bocard circulaire H, que ce savant maître de forge avait fait construire pour concasser les minérais que l'on fondait dans ses hauts fourneaux; à cette époque, ce bocard nous parut réunir plusieurs avantages et devoir être publié pour être mieux connu. Nous allons en donner ici une description succincte et abrégée.

Le bocard tournant était composé d'un grillage J, de 8 à 9 pieds de diamètre, enchâssé dans un plan circulaire de bois, supporté par un arbre vertical K : douze pilons soulevés par des cammes fixées dans un arbre horizontal L, tombaient alternativement sur ce grillage pour y piler le minérai grillé que l'on y plaçait; ce plan avait lui-même un mouvement circulaire, afin que les pilons pussent tomber sur tous les points de sa surface couverts de minérai; des *bocardeurs* jetaient ce dernier sur la grille, les pilons le concassaient dans leur passage. Les fragments coulaient à travers les ouvertures, d'un pouce carré, que les grilles laissaient entre elles, et les morceaux trop gros restaient sur le plan pour être soumis de nouveau à l'action du pilon lorsqu'ils y étaient ramenés par le mouvement circulaire, Les fragments assez petits pour

passer dans les ouvertures des grilles, tombaient d'abord sur le plan de bois qui supportait le grillage, et de-là sur le plancher, d'où ils étaient ramassés et triés avant d'être portés au haut fourneau.

Une roue à aube M, mise en mouvement par un courant d'eau, faisait tourner un arbre N, dans lequel étaient emmanchées deux lanternes OO; la seconde lanterne s'engrenait dans une grande roue horizontale P, portée par un arbre vertical, qui communiquait son mouvement circulaire au grillage; la première lanterne s'engrenait aussi dans une roue dentée Q, qui faisait mouvoir un arbre vertical. Une seconde roue dentée R, fixée dans cet arbre, s'engrenait dans une autre lanterne, et mettait en mouvement l'arbre L, qui portait les cammes qui élevaient les pilons. Ainsi, la même roue faisait mouvoir la grille et les pilons.

Le seul défaut que le baron Eggersche trouvait alors à ce bocard, c'est qu'il concassait beaucoup plus de minérai que ses fourneaux n'en consumaient. Il se proposait de diminuer les proportions de sa machine, pour employer moins d'eau et moins de monde à-la-fois, afin de ne fournir que la quantité d'oxide de fer concassé qu'il pouvait fondre.

Les minérais qui peuvent être pulvérisés avant d'être jetés au haut fourneau, ceux qui se fondent plus facilement et donnent une meilleure fonte lorsqu'ils sont réduits en poudre, doivent être cassés au bocard à sec ordinaire, ou au gros marteau, parce que l'on peut toujours, par ce moyen, réduire ces minérais en poussière; mais ceux qui donnent un mauvais fondage ou une mauvaise fonte lorsqu'ils sont réduits en trop petits fragments, ne doivent pas être bocardés, parce que le bocard les pulvérise trop facilement et les écrase. Dans ce cas on est obligé de casser à la main les mines grillées, ce qui occasionne une dépense considérable. Comme les fers spathiques de Styrie et de Carinthie ne pourraient être cassés qu'à la main, parce qu'ils se fondent moins bien lorsqu'ils sont en poussière, M. le baron Eggersche a fait construire son bocard circulaire, afin d'économiser une partie de la dépense que le cassage lui occasionnait, et il est parvenu, à l'aide de cette machine, à obtenir le minérai concassé, dans l'état le plus approprié à sa nature et à sa fusion.

CHAPITRE SECOND.

DU TRAITEMENT DES MINÉRAIS DE FER POUR EN OBTENIR DE LA FONTE OU DU FER CRU.

212. Les minérais de fer, après avoir été *triés, lavés, grillés* et *concassés*, sont traités, pour en séparer, sous l'état de fonte, le fer qu'ils contiennent. Ce métal, lorsqu'il est liquéfié, et qu'il est réuni au fond d'un creuset, est coulé en masse, en gueuse ou en saumons, souvent pour être purifié de nouveau, et en obtenir du fer doux, de l'acier, ou une fonte plus pure et propre à produire des objets fondus : d'autres fois, le fer liquide est purifié dans le creuset du fourneau, pour être coulé directement dans des moules, qui lui donnent les formes sous lesquelles il doit être employé : ainsi la fonte de fer peut être obtenue dans deux états; 1° de *fonte brute*, qui doit subir une nouvelle préparation; 2° de *fonte moulée*.

On obtient de la *fonte brute* en mettant de l'oxide de fer en contact avec du carbone, ou des matières qui lui en fournissent, et en exposant ces deux substances à une haute température dans des fourneaux. Là le métal se réduit, se fond et se sépare des matières terreuses avec lesquelles il est mélangé ou combiné. Il faut, pour retirer le régule de fer des minérais qui le contiennent, des fourneaux dans lesquels on puisse les fondre; des combustibles qui procurent le carbone propre à séparer l'oxigène de l'oxide de fer, et qui élèvent la température des fourneaux; des machines soufflantes qui fournissent l'air nécessaire à la combustion; enfin des substances propres à être ajoutées aux minérais, afin de faciliter la fusion et la séparation des terres.

On voit donc, d'après ces considérations, que le travail de la fonte de fer doit être divisé en six parties qui formeront six articles séparés et distincts : 1° des fourneaux propres à fondre les minérais; 2° des combustibles qui doivent produire la température nécessaire à la fusion;

3° des machines soufflantes qui activent la combustion; 4° des fondants que l'on ajoute au minérai; 5° de la conduite et de la direction des fourneaux dans les fondages; 6° enfin du travail des fontes moulées.

DES FOURNEAUX A FONDRE LES MINÉRAIS DE FER.

213. On peut diviser les fourneaux en deux espèces; dans ceux de la première, le fer se fond complètement, se sépare des matières terreuses qui l'accompagnent; il reste liquide dans le creuset, d'où il peut être coulé, soit en tout, soit en parties, dans des espaces ou des moules destinés à le recevoir: dans ceux de la seconde, le fer se fond, se liquéfie; mais il se raffine et se prend en masse dans le creuset, d'où il faut ensuite le retirer pour le *cingler*, le *forger*, et en obtenir du fer ou de l'acier. On donne aux premiers fourneaux le nom de *fluss-offen*, ou *fourneaux de fusion;* et aux seconds, lorsqu'ils sont un peu grands, celui de *stuck-offen*, ou *fourneaux à masse;* et lorsqu'ils sont petits, *affineries*. Les fourneaux de fusion sont les seuls dont nous allons nous occuper dans cet article.

Tout ce que l'on sait de l'histoire du travail du fer porte à croire que l'on n'a fait usage, pendant long-temps, pour obtenir ce métal, que de bas fourneaux, connus sous le nom d'affineries, ou de moyens fourneaux nommés *stuck-offen*. Vers le milieu du seizième siècle, époque à laquelle le célèbre Agricola publia son immortel ouvrage *de Re metallica*, les plus grands fourneaux connus en Europe, n'avaient que six à neuf pieds de haut; mais vers la fin du seizième siècle, un *Voigtlandais*, nommé *Hans-sien*, construisit dans le Hartz, un fourneau de vingt-quatre pieds de haut (1), dont le vide intérieur D, (planche 42), avait la forme d'une pyramide rectangulaire tronquée, posée sur sa base, laquelle pouvait avoir six pieds de côté environ. Cette base était placée sur un creuset prismatique très-étroit, dans lequel la fonte liquide se

(1) T. F. Tolles, und L. E. S. Gartners Eisenhütten-Magazin, tome 1er, page 92, §. 59.

rassemblait. L'avantage que l'on obtint, en traitant les minérais dans ce fourneau, qui était encore très-défectueux, détermina bientôt à augmenter la hauteur de tous ceux dont on faisait usage en Europe; et ce fut ainsi que l'on parvint, peu-à-peu et successivement, aux formes et aux dimensions des fourneaux dont on se sert aujourd'hui.

Les fourneaux de fusion destinés à fondre le fer, portent aussi le nom de hauts fourneaux : ce sont de grands massifs de maçonnerie, des espèces de tours, contenant dans leur intérieur une cheminée dans laquelle on expose le minérai à l'action du combustible. Dans ce vide intérieur, le combustible brûle; et, tant par son action que par celle du calorique qu'il dégage, le minérai est réduit et ramolli; le métal se fond avec les matières terreuses qui l'accompagnent; ces différentes parties tombent et se réunissent dans le bas du fourneau, où elles se séparent chacune selon sa pesanteur spécifique, ensuite elles sont coulées ensemble ou séparément.

Nous diviserons tout ce qui a rapport à la construction des hauts fourneaux en trois sections; 1° des massifs, ou de leur forme extérieure; 2° de la cheminée, ou du vide intérieur; 3° de la construction de l'une et de l'autre partie.

DE LA FORME EXTÉRIEURE DES HAUTS FOURNEAUX.

214. Les hauts fourneaux ont généralement la forme d'une tour quadrangulaire A, (planche 9) ou d'une pyramide tronquée B; souvent aussi le massif, hors de terre, est divisé en deux parties, l'une prismatique A, et l'autre pyramidale B; ce qui produit quatre sortes de formes: 1° prismatique A; 2° pyramidale B; 3° pyramidale prismatique C; 4° prismatique pyramidale D. Leur hauteur, au-dessus du sol, varie entre quatre et vingt mètres (12 et 60 pieds). Lorsque ces fourneaux n'ont que dix-huit à trente pieds de hauteur, la largeur de la base est égale à la hauteur au-dessus du sol; mais lorsqu'ils ont une plus grande élévation, la longueur de la base est entre les $\frac{2}{3}$ et les $\frac{5}{6}$ de la hauteur. Quelques fourneaux, comme celui de Conches, en Normandie, ont la largeur de

la base plus grande que leur hauteur au-dessus du sol (1); mais ces cas sont très-rares. Les *fluss-offen* de Carinthie, qui ont de douze à quatorze pieds de haut, n'ont de longueur de base que les $\frac{3}{4}$ de celle de leur élévation (2).

215. Ces tours ou massifs sont presque toujours percés de deux grandes ouvertures auxquelles on donne le nom de *voussoirs* ou *embrasures* E. Celle de devant sert à faciliter le travail, à séparer les scories, et à faire couler la fonte ou à la puiser avec des *poches;* la seconde, placée sur une des faces latérales, sert à loger les machines soufflantes, ou à introduire leur base dans l'intérieur de ces massifs.

Quelques fourneaux ont un plus grand nombre d'embrasures, d'autres en ont moins : les fourneaux du baron d'Eggersche, situés à Treibach, en Carinthie; celui qu'il possède à Vordenberg, en Styrie; le fourneau de M. de Monspergische, à Vordenberg; les deux nouveaux fourneaux de Eisenertz, et celui du couvent des Bénédictins, à Rettelstein, en Styrie; le fourneau de Mittervalde, en basse Hongrie; celui de Glamorghamshire, en Angleterre, et plusieurs autres que nous n'indiquerons pas ici, ont deux tuyères, et en conséquence trois embrasures. O'Relly avait proposé (3) d'appliquer trois tuyères à l'ancien fourneau de Preuilly F; ce qui entraînait avec soi la construction de quatre embrasures.

Dans les *fluss-offen* de Styrie et de Carinthie G; et dans les hauts fourneaux de l'Italie, des départements du Mont-Blanc, de l'Isère, etc., la base des machines soufflantes se place sur le devant, au-dessus de l'ouverture de la coulée, dans l'embrasure par laquelle on travaille dans l'intérieur. Dans quelques-uns de ces fourneaux, comme dans ceux de Styrie et de Carinthie, il n'y a qu'une seule embrasure (4) : ceux de l'Italie, des départements de l'Isère et du Mont-Blanc, n'ont pas même d'embrasure sensible, du moins le plus souvent.

---

(1) Annales des Arts et Manufactures, tome 5, page 225.

(2) Voyage de Jars et Duhamel, tome 1er, page 34.

(3) Annales des Arts et Manufactures, tome 10, page 122.

(4) Voyage de Jars et Duhamel, tome 1er, page 34.

216. L'ouverture de la cheminée, sur la plate-forme des tours ou des pyramides, est, dans quelques fourneaux, unie et libre, afin de faciliter le travail du *chargeur*, et l'approche du charbon et du minérai que l'on y jette. Dans d'autres, cette ouverture est environnée d'un mur I, de un à deux pieds de haut, auquel on donne le nom de *buze* ou de *petite masse supérieure*. Ce mur a pour objet de donner la facilité nécessaire pour approcher de cette ouverture, et d'éviter les accidents qui peuvent arriver aux ouvriers imprudents, lorsqu'ils chargent les fourneaux. Elle sert encore à diminuer la masse de la maçonnerie de ces tours, et à économiser les frais de construction.

L'ouverture de la cheminée, surmontée ou non d'une buze, est exposée à l'action du vent et de la pluie; souvent ces météores contrarient la marche des fourneaux, et produisent des dérangements qui diminuent leurs effets.

On entoure la plate-forme d'un mur de cinq à six pieds de haut K, auquel on donne le nom de *bataille*. Le plus souvent les batailles sont verticales : on en construit aussi qui sont inclinées L. On place quelquefois, sur la surface supérieure des fourneaux, entre les *batailles* et la *buze*, un appentis qui sert à couvrir les chargeurs et à les garantir de l'injure du temps. Cet appentis M, devient souvent funeste, parce qu'il peut occasionner des asphyxies. Courtivron cite pour exemple (1) : « que deux « pauvres femmes s'étant couchées, pour se reposer, au fourneau de « Compasseur, en Bourgogne, l'une d'elles fut trouvé suffoquée, et qu'il « fut impossible de la sauver. »

Sur le plus grand nombre des fourneaux de Suède, les batailles sont recouvertes d'un petit appentis en bois ou en fer N, au milieu duquel est une ouverture rectangulaire de quinze à seize pieds de côté, pour la sortie de la flamme. Cette ouverture peut produire le même effet que les appentis des fourneaux de Bourgogne; mais il est moins dangereux, en ce qu'il laisse circuler plus librement les gaz et les vapeurs.

(1) Art de forger, deuxième section, troisième partie, art. 28.

En Styrie et en Carinthie, la plupart des fourneaux sont surmontés d'une cheminée pyramidale de douze à vingt pieds de haut Q, (planche 10), qui procure à-la-fois le double avantage de préserver le foyer du vent et de la pluie, et de déterminer un plus fort tirage. On pratique, de l'extérieur à l'intérieur de ces cheminées, des conduits d'air qui renouvelle celui de la plate-forme et le purifie.

217. Dans la plupart des fonderies de l'Europe, les murs extérieurs des hauts fourneaux sont revêtus de pierres équarries et de forte dimension; ces pierres sont liées à la masse des fourneaux par des anneaux de fer, par des ancres R, qui retiennent des traverses du même métal; souvent aussi, ils sont ceints d'un ou de deux cadres de bois S, ou de fer, qui entretiennent leurs solidités. En Suède, quelques fourneaux sont revêtus extérieurement en bois T, pour retenir le massif de terre qui remplit l'espace qui se trouve entre les parois du vide intérieur et la face extérieure. Ce revêtement, qui commence au-dessus des embrasures, a pour objet d'économiser sur la construction en pierre, et de donner les moyens d'obtenir une masse moins pesante. Il paraît même que la terre étant moins conductrice du calorique que la pierre, elle doit être plus propre à retenir la chaleur, et à l'empêcher de se dissiper.

218. Quoique le vide intérieur des hauts fourneaux soit peu considérable, cependant le massif qui le revêt doit être épais et lourd. Cette forte épaisseur des parois est nécessaire à la solidité du fourneau. L'action du feu intérieur occasionne une augmentation de volume, dans la masse, qui varie en raison de la température de chaque tranche et des altérations que la température éprouve dans tout le vide: aussi remarque-t-on, lorsqu'on met un haut fourneau en feu, qu'il se forme des crevasses qui pénètrent quelquefois jusque dans l'intérieur de la cheminée; et si les parois ne tenaient pas assez fortement, si elles n'étaient pas assez liées pour résister à l'action dilatante de la chaleur, et au ressort de l'eau vaporisée dans le massif (parce qu'il est impossible de le maintenir dans un état de sécheresse absolue), leur résistance serait bientôt vaincue, et l'effort continuel de la chaleur les détruirait.

La forme extérieure de ces grosses masses dépend donc de la résis-

tance nécessaire pour vaincre les efforts qui tendent à les détruire. Lorsque les fourneaux sont petits, et qu'ils sont en feu pendant peu de temps, comme les *fluss-offen* de Styrie et de Carinthie, qui n'ont que 10 à 14 pieds de haut, et qui ne fondent que pendant six jours de suite; ils ont la forme d'un prisme triangulaire dont la largeur n'est que les $\frac{2}{3}$ de la hauteur, environ; les faces, jusqu'à la plate-forme, sont un peu inclinées; elles ont un faible talus d'un pouce par toise ou $\frac{1}{72}$.

Mais aussitôt que les fourneaux ont de 18 à 24 pieds de hauteur, et qu'ils sont pendant plusieurs mois en feu, il faut que leurs parois aient plus de force pour résister à l'action de la masse qui pèse dessus, et à celle du feu qui tend à les écarter; il faut donc qu'ils aient plus d'épaisseur, et dans cette circonstance on donne au massif une largeur de base égale à sa hauteur.

L'intensité du feu est toujours plus grande depuis le sol jusqu'au tiers de la hauteur du fourneau; sa force et son action diminuent ensuite jusqu'à la partie supérieure.

L'espace vide qui se trouve dans le bas du fourneau est ordinairement très-petit; il va en s'élargissant jusqu'au tiers de la hauteur, et c'est aussi à cet endroit que se produit le plus grand effort du feu; mais le massif est percé dans le bas d'une, de deux, ou de plusieurs grandes voussures qui altèrent sa force, et diminuent la résistance de sa base.

Il y a trois motifs qui contribuent à faire donner à la base du fourneau plus de largeur qu'à la partie supérieure : 1º l'action de la chaleur; 2º le vide des embrasures; 3º la charge qu'elle supporte. Ces trois considérations doivent donc déterminer à donner à cette base la forme d'une pyramide tronquée qui ne s'élève ordinairement que jusqu'à la moitié de la hauteur; le reste, à partir de cette troncature, s'élève quelquefois verticalement jusqu'au sommet de la plate-forme; d'autres fois, l'inclinaison se continue jusqu'à ce même sommet.

Ces deux formes, l'une d'un prisme posé sur une pyramide tronquée, l'autre d'une pyramide tronquée continuée dans toute la hauteur du fourneau, ont leurs avantages et leurs inconvénients.

Les fourneaux composés d'une partie prismatique, posés sur une

pyramide tronquée, ont plus de grâce et de solidité, et la plate-forme, ayant plus d'épaisseur, peut servir de dépôt aux substances que l'on jette dans l'intérieur; elle peut encore donner de la facilité au travail, en permettant aux ouvriers de faire le tour de la bure; mais cette forme exige un plus grand emploi de matériaux, une plus grande dépense de construction, et elle produit aussi une plus grande charge sur la base, charge qui est souvent augmentée par les dépôts de minérais que l'on accumule sur la plate-forme, et qui surchargent la base et les fondations, si elles n'ont pas assez de solidité.

La forme pyramidale est plus légère, plus économique, et surcharge moins les fondations.

Si les fourneaux n'avaient que 18 à 30 pieds de hauteur au-dessus du sol, on pourrait leur donner la forme mixte d'un prisme posé sur une pyramide tronquée, parce que la surcharge et l'excès de dépenses que cette forme occasionne sont peu considérables; mais lorsque les fourneaux ont de 30 à 60 pieds de haut, il faut absolument leur donner la forme d'une pyramide tronquée dont la troncature soit la plus petite possible. On ne peut, dans cette circonstance, trop économiser le travail et trop diminuer le poids du massif; la seule condition qu'il faille nécessairement remplir, c'est que les proportions et les dimensions soient propres à résister à la double action du feu et de la charge du massif. Les fourneaux anglais, dont la hauteur varie entre 36 et 60 pieds P, (planche 9) ont assez généralement la forme d'une pyramide tronquée, dont la plate-forme n'a quelquefois que le double de la largeur de l'ouverture de la cheminée.

On croit assez communément que la forme d'une pyramide tronquée posée sur un prisme, que l'on donne à quelques fourneaux (en observant de conserver un léger talus aux faces du prisme) doit, dans beaucoup de circonstances, être préférée, parce qu'elle procure de l'économie dans les matériaux, et que par cela même elle diminue la charge qu'ils occasionnent; car, la forme prismatique, depuis la base jusqu'au milieu de la hauteur, est celle qui convient le mieux au vide intérieur, à la résistance du feu, au vide des voussures et au poids total. La forme

pyramidale de la partie supérieure est aussi celle qui est la plus convenable à la dimension du vide intérieur, au développement de la température et à la descente de la charge.

219. Les *embrâsures* que l'on perce dans le massif des fourneaux, et qui servent à faciliter le travail et à placer les machines soufflantes, ont la forme d'une pyramide tronquée, dont la base est rectiligne U, (planche 10) ou curviligne V, X.

Les voussures à base rectiligne U, sont les plus simples ; on les construit en pierres plates, que l'on pose sur des pièces de fonte ou sur des morceaux de gueuse M, N. Les voussures à bases curvilignes V, X, ont une forme plus agréable, sont plus solides, et sont construites en pierres de taille ou en briques.

On peut donner à la courbure des voussures en pierres, soit la forme d'un cintre surbaissé, soit celle d'une demi-circonférence X, soit enfin celle d'un cintre élevé ou en ogive, V.

La largeur des embrâsures, pour les fourneaux de 24 pieds, doit avoir la moitié de celle de la base ; pour les fourneaux moins larges, un peu plus que la moitié, et pour les fourneaux plus larges, un peu moins. Cette largeur est subordonnée à l'espace nécessaire au travail, à la grosseur et à la force que doit avoir le pilier qui sépare les deux embrâsures, et que l'on appelle *pilier de cœur.*

Il faut à l'embrâsure du devant du fourneau assez d'espace pour que *les gardes* puissent y manœuvrer commodément, que l'air y circule facilement, et que la chaleur puisse se dégager. La hauteur doit être entre 10 et 18 pieds pour des fourneaux de 18 à 60 pieds de vide intérieur. Celle des machines soufflantes peut avoir des dimensions moins grandes ; il suffit que le *garde* puisse aller à la tuyère pour l'arranger, la déboucher, et observer ce qui se passe dans le fourneau.

La flamme qui s'échappe du fourneau, les étincelles qui sortent de l'ouverture de la *tympe* et qui peuvent, en coulant le long de l'embrâsure, mettre le feu aux bâtiments qui entourent le fourneau, doivent y être arrêtées et réfléchies par le bas. Aussi, dans les fourneaux où l'on craint des accidents, on a soin d'interrompre la continuation de

l'inclinaison des embrâsures par une bande horizontale Y, de quelques pouces de largeur. Les étincelles qui arrivent à cette hauteur sont arrêtées dans leur marche, changent de direction, et sont chassées et réfléchies par le bas.

On conserve dans les *piliers de cœur* une ouverture *a*, E, (planche 9) par laquelle les gardes, placés dans l'embrâsure du devant, peuvent observer ce qui se passe dans celle des machines soufflantes,

220. Les quatre faces du fourneau ont des noms qui les font distinguer E. On appelle *devant b*, le côté du travail, celui par où l'on coule; *rustine c*, le côté opposé ou le derrière du fourneau; côté *du vent* ou *de la tuyère d*, celui par où le vent arrive dans l'intérieur des fourneaux; et enfin *contre-vent e*, le côté opposé; bien entendu que ces dénominations sont dépendantes de la forme et de la nature des fourneaux et des pays dans lesquels ils existent; car dans les fourneaux d'Italie, dans les *fluss* et *stuck-offen* de Styrie et de Carinthie, de la Basse-Hongrie, de l'Angleterre, etc., il n'y a pas de contre-vent, et il y a, dans quelques-uns, deux piliers de cœur. Mais on distingue, dans ces fourneaux, les faces de droite et de gauche, c'est-à-dire, celles qu'on voit à droite ou à gauche en regardant le fourneau.

221. La combustion, dans les hauts-fourneaux, devant être entretenue par des machines soufflantes, celles-ci sont ordinairement mues par un courant d'eau. Dans quelques circonstances, elles le sont aussi par des machines à vapeur ou par des chevaux: ces derniers moteurs, très-communs autrefois, sont fort rares aujourd'hui, quoiqu'ils puissent cependant être employés avec avantage dans un grand nombre de circonstances. Les seconds ne sont employés que dans les lieux où le combustible peut remplacer l'eau, et où ce fluide n'est pas assez abondant. Les premiers moteurs sont plus généralement en usage, parce que ce sont ceux qui exigent moins de dépenses; mais aussi il arrive très-souvent qu'ils éloignent l'usine du combustible que l'on doit y brûler.

Comme les machines soufflantes qui entretiennent la combustion doivent être préservées de l'action des météores, on les place ordinairement sous un couvert. Cette précaution empêche que les hauts-four-

neaux ne puissent être entièrement isolés; on est donc obligé d'adosser, contre la masse, des appentis pour abriter les machines, ainsi que pour en rapprocher les divers ateliers qui doivent être à leur proximité Z, (planche 11).

Dans le travail des hauts-fourneaux, les flammes qui sortent de l'ouverture du gueulard, les étincelles qui les accompagnent faisant craindre qu'elles n'enflamment les combustibles, ainsi que les autres corps susceptibles de combustion qu'elles peuvent rencontrer, il faut éviter avec soin d'y exposer des magasins; aussi ne fait-on, autour des fourneaux, que des constructions que l'on croit d'une nécessité absolue, et seulement pour abriter les ouvriers, ou les marchandises qui doivent en être très-proches.

Dans quelques fourneaux, on se contente de former un appentis au-dessus des machines soufflantes Z; dans quelques autres, on le prolonge, afin de procurer un assez grand espace abrité, pour que l'on puisse y placer à couvert tout ce qui est relatif au travail; dans ce cas, l'appentis recouvre la face de la tuyère et celle du devant des fourneaux. Dans quelques circonstances, on le prolonge sur trois faces, et quelquefois même sur les quatre B.

Lorsque les fourneaux n'ont qu'une seule tuyère, un appentis sur les machines soufflantes, prolongé sur la face du devant, est presque toujours suffisant. Mais s'ils ont deux tuyères, il faut, de toute nécessité, qu'il recouvre deux faces AA, ou qu'il soit continué sur les trois faces; savoir : celle des machines soufflantes et celle du devant. Il est rare qu'on le construise sur le derrière, à moins que l'on ne veuille couvrir les roues, pour les préserver du froid de l'hiver, et chauffer l'espace qui les renferme, pour empêcher que les glaces n'arrêtent leur mouvement.

222. Comme les fourneaux sont élevés au-dessus du sol, qu'ils sont isolés, qu'il faut monter le combustible et le minérai sur la plate-forme AB, pour les charger par l'ouverture supérieure *b*, on est obligé de construire un chemin *a*, incliné sur le derrière du fourneau, sur le côté de la *rustine*, afin de faciliter le transport; ou de construire une

machine, à l'aide de laquelle le minérai et le combustible puissent être élevés sur la plate-forme.

Dans quelques pays, en Italie, dans les départements de l'Isère et du Mont-Blanc, on adosse les fourneaux à la montagne A C, pour arriver plus commodément à la plate-forme; mais ce mode entraîne souvent avec lui de grands inconvénients, à cause de l'eau qui peut suinter à travers le massif, arriver dans la cheminée et faire engorger les fourneaux. C'est un mode défectueux qu'il faut éviter avec soin.

On peut profiter de l'avantage de la proximité d'une montagne, et éviter l'inconvénient du suintement des eaux, en laissant entre le haut du fourneau et l'élévation du terrain A D, un espace vide, formé par une tranchée de quelques pieds de large, de manière qu'il n'y ait pas de continuité; alors, par le moyen d'un pont de bois *a*, on établit une communication entre cette élévation et le gueulard du fourneau : on peut encore placer, à la proximité du gueulard, sur cette hauteur, le magasin de charbon A E, et les tas de minérai et de castine. Par cet arrangement, le service se fera commodément, sans courir les dangers que présentent l'adossement des fourneaux d'Italie, de l'Isère et du Mont-Blanc.

DU VIDE INTÉRIEUR DES HAUTS FOURNEAUX.

223. On appelle *cheminée intérieure* ou *cuve*, l'espace vide dans lequel se fondent les minérais. Dans les hauts fourneaux, ces vides ont des formes et des dimensions qui varient selon les lieux où ils sont établis, les minérais qu'on y fond et les usages auxquels on les destine.

Ils peuvent former un prisme A, B, (planche 12) une pyramide C, D, un ellipsoïde I; la réunion d'un prisme et d'une pyramide E, F; enfin ils peuvent prendre la forme de deux pyramides opposées base à base G, H.

D'après le peu de détails donnés par Swedemborg (1), sur les four-

(1) Art des forges, 4e section, §. 18.

neaux de Bohême qui existaient de son temps, on est tenté de considérer la forme de leur vide comme devant être celle d'un prisme K, ou d'une pyramide tronquée N, posée sur sa base. On est encore conduit à la même conclusion, lorsque l'on considère le peu de détails que Marscher donne (d'après Lampadius) sur les hauts fourneaux du comte de Wurbna, en Bohême (1), puisqu'il n'indique que deux de leurs dimensions : leur hauteur de 24 à 32 pieds de Vienne, et leur diamètre de 7.

On voit par la planche XI, de la troisième section de l'Art des Forges de Swedemborg, que l'on se sert, dans quelques fonderies, pour obtenir de la fonte à mouler, de hauts fourneaux, dont le vide est en forme d'une pyramide quadrangulaire M, posée sur sa base.

Les *stuck-offen* de Styrie et de Carinthie sont des pyramides irrégulières, également posées sur leur base N (2).

Il semblerait, d'après la description que Swedemborg fait du fourneau italien de Bresse, connu sous le nom de *cannechio*, que ce serait une pyramide tronquée O, dont la base supérieure aurait 3 pieds d'ouverture, et l'inférieure 15 pouces, conséquemment une pyramide renversée.

Le fourneau du comté de Larwige P, en Norwège, paraît être un cylindre posé sur un cône tronqué, dont la troncature est placée sur un prisme rectangulaire (3).

La cuve des fourneaux de Saxe, celle du fourneau de Johan Georgenstadt L, décrit par Jars et Duhamel (4), ont la forme d'un cône, posé sur un creuset de forme prismatique rectangulaire, et réunis l'un à l'autre par un segment d'ellipsoïde.

Presque tous les fourneaux de Styrie et de Carinthie sont composés de deux pyramides opposées base à base Q (5).

Quelques *fluss-offen* d'Eisenartz, en Styrie, ont la forme d'un ellip-

---

(1) Art des forges, 4[e] section, §. 150.

(2) *Idem*, 3[e] section, planche 9.

(3) Jars et Duhamel, Voyage métallurgique, tome 1[er], page 162.

(4) Voyage métallurgique, tome 1[er], page 73.

(5) *Idem*, page 34.

soïde de révolution R, sur lequel on a tronqué des segments aux extrémités du grand diamètre.

Enfin, presque tous les fourneaux d'Europe sont formés, dans leur intérieur, de deux pyramides opposées base à base Q. La pyramide inférieure, dans quelques pays, est placée sur un prisme qui forme le creuset, et dans beaucoup d'autres, elle est séparée de ce prisme par une troisième pyramide tronquée, beaucoup plus aiguë que la seconde.

Les bases des prismes et des pyramides présentent aussi d'assez grandes différences : celles d'un grand nombre de fourneaux français, de plusieurs fourneaux de Styrie, de Carinthie, de Bohême, celui de Glocester (1), en Sussex ; de Flactre, en Saltzbourg (2), etc., sont rectangulaires.

Quelques fourneaux de France, tels que celui de Grossouvre (3), les fourneaux de l'Angoumois (4), sont octogones S, sur les bases des pyramides, et quadrangulaires vers leurs sommets tronqués. Courtivron prétend même (5) qu'un maître de forge, en Bourgogne, en a construit un dont la base des pyramides avait dix côtés.

Quelques fourneaux de France, de Styrie et de Carinthie, de Bohême, de Saxe, de Russie, de Sybérie, et presque tous ceux de Suède, de Norwège, et d'Angleterre, ont la base de leur pyramide circulaire.

D'après les détails que l'on vient de rapporter sur la variété des formes que l'on donne aux hauts fourneaux dont on fait usage en Europe, on voit, qu'avant de choisir entre eux, il est utile de discuter ces formes, afin de déterminer celle à laquelle on doit donner la préférenee.

234. La cuve des hauts-fourneaux destinés à fondre le fer, est remplie de combustible et de minérais. L'air atmosphérique, nécessaire à la

(1) Swedemborg, Art des forges, §. 12.

(2) *Idem*, §. 20.

(3) Courtivron et Bouchu, Art des forges, section 3, 1re partie.

(4) *Idem*, 1re partie, article 5.

(5) *Idem*, 1re partie, article 7.

combustion, arrive par une ouverture appelée *tuyère*, pratiquée dans la partie inférieure, à quelques pouces d'élévation au-dessus du sol: cet air, en traversant les différentes tranches de combustible leur cède une partie de son oxigène, ce qui diminue la proportion de ce gaz à mesure que l'air s'élève. Et si la hauteur du fourneau était infinie, il y aurait une distance de la tuyère où l'air atmosphérique aurait son oxigène supersaturé de charbon, et en conséquence, ne serait plus propre à entretenir la combustion; cette hauteur, dans chaque fourneau, varierait en raison de la quantité d'air fournie par les machines soufflantes, de la largeur de la cuve et de la nature du combustible.

Quelques expériences que nous avons faites dans le laboratoire de l'École des Mines de Moutiers nous ont appris que, dans des fourneaux prismatiques, la température provenant de la combustion, croissait jusqu'à une très-petite distance au-dessus de l'ouverture par laquelle la masse d'air arrivait, et qu'ensuite elle diminuait progressivement en suivant une loi qui était sensiblement en progression géométrique décroissante, pour des hauteurs de fourneaux en progression arithmétique.

La température est le produit de l'accumulation du calorique dégagé du carbone et de l'oxigène pendant leur combinaison; plus la quantité de ces substances est grande, plus il se brûle de combustible dans un temps donné; plus il y a de calorique de dégagé, et plus la température est élevée; or, toute chose égale d'ailleurs, elle doit varier avec la proportion d'oxigène libre et non combiné avec le carbone qui est contenu dans la masse d'air, et comme cette proportion diminue à mesure que l'air s'élève à travers le combustible (à cause des combinaisons qui s'y forment successivement), la température doit diminuer avec l'élévation: elle devrait cesser de croître lorsque l'air ne contient plus d'oxigène qui puisse encore se combiner avec du carbone.

Cette loi de la répartition de la chaleur, résultant de la proportion d'oxigène contenu dans la masse d'air et qui se combine avec le carbone en traversant chaque tranche de ce combustible, est modifiée,

1° par la température de l'air; 2° par celle qu'a acquise le combustible contenu dans chaque tranche; 3° par la propagation de la chaleur de tranche en tranche; 4° par l'action des parois; 5° par l'air froid en contact avec l'ouverture supérieure; 6° par la température de l'air qui sort par l'ouverture supérieure.

235. L'air en arrivant est froid; et quoique la quantité de carbone qui se combine avec la première tranche de combustible qu'il rencontre d'abord soit plus grande que celle qui se combine ensuite avec la seconde, comme il y a une quantité de chaleur employée à élever l'air à la température du milieu qu'il traverse, cette quantité diminue celle que la tranche du fourneau aurait pu acquérir. C'est donc à une petite hauteur, au-dessus de l'origine de la première tranche, que doit être la plus haute température: c'est de ce point qu'elle doit décroître jusqu'à ce qu'il ne se combine plus d'oxigène avec le combustible des tranches supérieures.

Après avoir traversé la première tranche de combustible, l'air échauffé s'élève successivement, à cause de la légèreté qu'il acquiert; il augmente de température en s'élevant, et il arrive enfin à une température égale à celle des tranches qu'il traverse. En continuant de s'élever, il traverse des tranches de combustible moins échauffées, et il leur abandonne une partie de son calorique. Comme chaque tranche de combustible est déjà échauffée par la chaleur qui se dégage de la combustion, il résulte de ce calorique enlevé, et de celui qui a été abandonné par l'air en traversant chaque espace, que, depuis le point où l'air entre dans le fourneau, jusqu'à la tranche de combustible qui est en équilibre de température avec l'air qui la traverse, la chaleur des espaces traversés est moins grande que celle qui aurait eu lieu, si la quantité de calorique dégagée de la combustion n'eût pas été diminuée de toute la chaleur enlevée pour augmenter la température de l'air. Mais à partir de ce point, de cette tranche d'équilibre de température, toutes celles qui sont au-dessus ont une température plus élevée que celle qui résulte de la combustion seule, parce que les tranches sont moins chaudes que l'air qui leur arrive. Ainsi, lorsque la masse d'air qui tra-

verse le fourneau est parvenue à une hauteur où il ne se produit plus de combustion (parce que le fluide élastique est saturé de carbone), elle peut encore échauffer les tranches qu'elle traverse, en leur abandonnant une partie de la chaleur qu'elle a enlevée aux premières.

Le calorique, dégagé dans chaque tranche, se répand de proche en proche dans toutes les parties du fourneau qui sont moins échauffées. Cette propagation se fait, 1° par le rayonnement du calorique qui traverse tous les interstices, et qui se réfléchit de la surface des corps solides qu'ils rencontrent; 2° par sa transmission à travers les corps conducteurs. Or, comme les minérais et les charbons embrâsés qui remplissent la cuve sont d'assez bons conducteurs de calorique, celui-ci s'infiltre à travers ces substances pour se porter par-tout où la température est moins élevée.

En se propogeant dans la cuve, le calorique parvient jusqu'aux parois du fourneau; il élève leur température, les pénètre, et passe ensuite à travers le massif jusqu'à la surface extérieure, qui s'échauffe assez fortement pour que la chaleur soit sensible au toucher. L'échauffement des parois et la filtration du calorique à travers le massif du fourneau, sont autant de causes qui contribuent à diminuer l'action de la chaleur interne.

L'ouverture supérieure du fourneau est en contact avec l'air externe, qui, étant plus froid que la tranche de combustible qu'il touche, lui enlève une partie de son calorique. La tranche supérieure ainsi refroidie, enlève à son tour de la chaleur à celles qui la suivent, et ce refroidissement, qui se continue depuis l'ouverture jusqu'au centre, oblige la chaleur à se propager du centre du fourneau à l'ouverture supérieure, pour remplacer celle que l'air a enlevée.

Enfin, les gaz carbonés conservent encore une assez grande quantité de chaleur, lorsqu'ils sortent par la partie supérieure du fourneau, pour s'enflammer spontanément lorsqu'ils rencontrent de l'oxigène, ou de l'air atmosphérique qui en contient. C'est cette inflammation qui produit cette grande et belle lumière qu'on apperçoit au-dessus de l'ouverture des fourneaux.

Toutes ces causes réunies à un grand nombre d'autres que nous avons cru inutile d'indiquer, contribuent, les unes à diminuer la chaleur du fourneau, les autres à modifier la loi de variation de température qui s'établit dans son intérieur. Pour bien déterminer cette loi par le raisonnement seul, il faudrait connaître parfaitement toutes les causes qui influent sur la répartition de la chaleur, et la manière dont elles agissent; mais la difficulté d'acquérir ces connaissances nous a déterminés à abandonner cette méthode. Nous nous sommes contentés de consulter l'expérience; elle nous a donné ce résultat remarquable, que dans un fourneau prismatique (à partir du point où la température est la plus haute), les degrés de chaleur, soit en montant, soit en descendant, suivent une progression géométrique décroissante, pour des tranches en progression arithmétique T, (planche 12).

236. D'autres expériences que nous avons faites, en augmentant la surface des tranches horizontales des fourneaux prismatiques, ainsi que la quantité d'air envoyée dans un temps donné, nous ont appris que, plus la surface des tranches est grande, plus la température de celles qui avoisinent l'ouverture par laquelle entre l'air est considérable; mais aussi, lorsque la masse d'air est la même, la loi de décroissement de chaque tranche est d'autant plus rapide que les tranches horizontales ont plus de surface. Il faut, pour conserver la même loi de décroissement, quelle que soit la surface des prismes, augmenter la quantité d'air qui entre dans le fourneau, en même-temps qu'on augmente la grandeur de sa base.

Nous avons observé, dans ces expériences, qu'en augmentant la quantité d'air dans le même rapport que la base des prismes, le maximum de température suivrait une loi telle que, si l'on rapportait les quantités d'air lancées sur l'axe d'une parabole, et qu'on les considérât comme des abscisses, les températures correspondantes pourraient être représentées par les ordonnées. Dans toutes ces expériences les températures ont été déterminées suivant quatre méthodes différentes; 1° par des barres placées à différentes hauteurs, dans l'intérieur du

fourneau, d'après la méthode indiquée par Biot (1); 2° par la durée du refroidissement des masses de fer qui ont séjourné assez de temps dans diverses parties du fourneau pour acquérir la température du point où elles étaient (2); 3° par l'immersion du fer dans l'eau, ainsi que l'indique Coulomb (3); 4° enfin, par la quantité de fer qui se fond, dans un temps donné, à l'extrémité des barres d'une même grosseur (4). Les résultats que nous annonçons sont, en quelque sorte, une moyenne entre toutes les expériences faites par ces quatre méthodes.

---

(1) Bibliothèque Britannique, partie des Sciences et Arts, tome 27, page 31.

(2) Pour déterminer la température par cette méthode, nous avons fait usage de la belle loi trouvée par Newton, que les refroidissements sont en progression géométrique, pour des temps en progression arithmétique.

Pour appliquer cette loi à la détermination de la température, nous avons fait usage de masses de fer égales en formes et en poids; nous les avons placées, en les retirant du fourneau, sur un support isolé, en observant de les exposer à un courant d'air égal de toutes parts. Nous avons posé, sur chaque masse de fer, un morceau d'étain, et nous avons observé, avec une bonne montre à secondes, qui marquait aussi les quarts, combien de temps s'écoulait depuis le moment où l'on retirait le fer du fourneau, jusqu'à celui où l'étain se figeait. Alors nous avons placé un morceau de cire d'abeille sur la barre, et nous avons examiné le temps écoulé entre le moment où l'étain fondu redevenait solide, et celui où la cire éprouvait le même effet.

D'après cela, soit x la température de la masse de fer en sortant du fourneau, a celle de l'étain lorsqu'il se fige, b celle de la cire d'abeille lorsqu'elle se fige, t le temps écoulé depuis la sortie du fourneau jusqu'au moment où l'étain est devenu à l'état solide, θ celui qui s'écoule entre le moment où l'étain est revenu à l'état solide, et celui où la cire a éprouvé le même changement; on a $x = a\sqrt{\frac{a}{b}}^{\frac{t}{\theta}}$; ainsi, si l'on pouvait indiquer la coagulation de l'étain par 210^{d}, et celle de la cire par $65,^{d}5$, on aurait $x = 210\left(\frac{210}{65,5}\right)^{\frac{t}{\theta}} = 210 \times 3,2^{\frac{t}{\theta}}$.

(3) Leçons de physique de l'Ecole Polytechnique, pages 127 et suivantes.

(4) Lorsque l'on chauffe une barre de fer dans une forge, elle s'oxide à la surface; l'oxidation augmente avec la température, jusqu'à ce que cette surface commence à se ramollir et à se fondre, alors l'épaisseur de la couche fondue est comme le produit de la température par le temps écoulé, et dans des temps égaux, comme les températures.

Cette loi que suit la température des fourneaux prismatiques, lorsque l'on augmente leur base et leur hauteur, ainsi que la quantité d'air que l'on y fait entrer, pouvaient être prévues, en partie, par le raisonnement; car, l'augmentation de la chaleur dans les fourneaux doit être proportionnelle aux masses de combustible brûlé dans un temps donné; et ces masses, lorsque les combustibles sont les mêmes, sont sensiblement comme les volumes. Dans des fourneaux de même forme, dont toutes les dimensions ont augmenté dans la même proportion, les volumes sont comme les cubes des côtés homologues. Ainsi, l'augmentation de température devrait être comme les cubes de l'un des côtés, si le combustible était enveloppé d'une substance imperméable à la chaleur; mais les parois du fourneau peuvent être considérés comme des filtres à travers lesquels la chaleur se dégage; et leurs surfaces, pour des fourneaux de même forme, sont comme les carrés des côtés homologues. Ainsi, s'il n'existait que ces deux causes, l'une d'augmentation, l'autre de diminution de temperature, les effets seraient comme les cubes sont aux carrés des mêmes côtés. Mais de l'air froid qui entre dans le fourneau, et qui sort avec une chaleur assez grande pour faire enflammer, au contact de l'air atmosphérique, le carbone qu'il a dissous, occasionne une déperdition d'autant plus grande, que sa masse est plus considérable, et que la température intérieure est plus élevée. De plus, cette déperdition de la chaleur, qui s'infiltre à travers la masse, est elle-même d'autant plus considérable, que la température est aussi plus élevée. Ces effets, qui agissent en sens contraire, les uns pour augmenter la température, les autres pour la diminuer, sont tels, que, lorsqu'elle est peu considérable, la quantité de chaleur perdue est très-petite par rapport à celle qui a été dégagée; tandis que, à mesure que la température augmente, la proportion de chaleur perdue augmente aussi, mais dans un rapport beaucoup plus grand; ce qui conduit naturellement à une loi d'augmentation de température peu différente de celle que représente la courbe d'une parabole.

237. Si l'air qui passe dans tous les points d'une tranche de combustible avait une même proportion d'oxigène, il aurait une tendance à y

combiner des quantités de gaz semblables, et il s'y dégagerait des quantités égales de calorique : il s'établirait un équilibre de température dans toutes les tranches. Mais la chaleur, ainsi dégagée, se propage de deux manières, comme nous l'avons déja dit : l'une en vertu de la *conductricité* du charbon rouge et du minérai échauffé, et l'autre sous la forme de calorique rayonnant. La première se propage par le contact; la seconde s'élance de tous les points de la surface des deux substances en ignition : elle se propage comme la lumière. Les parois, en contact avec le combustible, reçoivent du calorique de l'une et de l'autre manières; ils en absorbent pour se mettre en équilibre de température et pour échauffer le massif avec lequel ils sont en contact. Lorsque les parois sont en équilibre de température avec la tranche, le calorique qui leur arrive se divise en deux parties : l'une s'infiltre à travers la masse, l'autre, beaucoup plus grande, se réfléchit en suivant la loi à laquelle le calorique rayonnant est soumis, c'est-à-dire, en faisant les angles de réflection égaux aux angles d'incidence. Cette chaleur réfléchie de toute part, augmente la. température dans diverses parties de la tranche, et cela en raison de la forme du périmètre des tranches ou de la surface de la cuve. Si la coupe horizontale est rectangulaire, la plus grande chaleur de chaque tranche se trouve dans les deux droites parallèles aux faces C, qui passent par le centre de la tranche. Si la coupe horizontale est circulaire, le centre du cercle X sera le point de plus grande chaleur, parce que c'est celui où aboutissent toutes les normales à la surface.

Or, comme dans le travail d'un fourneau il est avantageux d'avoir une ligne de plus grande température, bien déterminée, afin de pouvoir y diriger, dans le besoin, les substances les plus difficiles à fondre, il est donc nécessaire que les plans de ces tranches soient des cercles; et bientôt nous verrons que ce sont ceux que l'expérience indique comme les meilleurs, et qu'il faut toujours préférer.

Nous nous contenterons d'observer ici, que, dans les fourneaux carrés, les angles sont, le plus souvent, vides de charbon, et que rarement il y arrive du minérai; que l'air se porte tumultueusement dans ces espaces

vides et dérange la marche uniforme du fourneau, dérangement qui n'arrive pas ainsi ordinairement dans les fourneaux circulaires.

Maintenant que nous avons quelques données sur la marche et la répartition de la température dans les fourneaux, (car nous sommes loin de présenter comme des lois les résultats que nous avons obtenus, et qui ont besoin d'être répétés), nous pouvons examiner, et même discuter ce qui se passe dans chaque espèce de fourneau.

338. Lorsque la cuve est prismatique, comme dans quelques fourneaux de Bohême, la plus haute température est près de la tuyère; dans le cas où cette température serait justement celle qui est nécessaire à la fusion du minérai, il faudrait que celui-ci arrivât absolument à ce point fixe et constant, pour être fondu; et si, par la vîtesse que chaque morceau doit avoir en descendant, il ne reste pas assez long-temps dans cette tranche *de plus haute température* pour y être fondu au passage, il doit tomber au-dessous de la tuyère, sans avoir été liquéfié, et alors ne trouvant plus une chaleur assez élevée pour être fondu, il restera sous la forme de minérai agglutiné. On voit, par cette seule considération, qu'indépendamment de la préparation à la fusion que chaque morceau éprouve en descendant avant d'arriver à la tranche de plus haute température, il faut encore qu'il y reste assez long-temps pour y être liquéfié. Il y a deux manières de l'y retenir le temps convenable, 1° en empêchant le minérai de descendre si vîte, et en le retenant plus long-temps dans cette même position; 2° en lui faisant traverser une tranche de haute température assez élevée pour que, dans sa chûte, il puisse y demeurer le temps nécessaire à sa fusion totale.

Lorsque le fourneau a une forme prismatique, rien n'arrête le minérai dans sa marche. Sa pesanteur, plus grande que celle du charbon, le fait au contraire descendre plus vîte, et cette vîtesse est encore augmentée par la consommation rapide du combustible dans les tranches qui ont une haute température. Dans ce cas, le seul moyen que l'on ait à sa disposition, c'est de former un long espace dans lequel la température devienne propre à la fusion du minérai; ce qui exigerait que le maximum de température fût beaucoup plus élevé qu'il ne le serait

dans toute autre circonstance, et de-là qu'il y ait une grande consommation de combustible.

238. Si l'on donne à la cuve des fourneaux la forme d'une pyramide tronquée, cette pyramide peut être posée sur sa base ou sur son sommet. Examinons la marche de la chaleur dans ces deux cas.

Si la pyramide est posée sur sa troncature Y, la température doit diminuer successivement dans toute la hauteur, à partir de la tuyère, et cela à cause de la plus petite proportion d'oxigène contenue dans l'air qui traverse chaque tranche; mais aussi, la température doit croître dans chacune d'elles, 1° avec l'augmentation des volumes, 2° avec la diminntion de vîtesse dc l'air cn montant, laquelle est occasionnée par l'agrandissement des surfaces. La marche de la températnre suivra donc deux lois : l'une dc diminution progressive, comme dans les prismes; l'autre d'augmentation avec les bases : ces deux lois, qui agissent en sens contraire, concourent à établir, à une plus grande hauteur, la tranche de chaleur qui contiendra la plus haute température. Les lois d'augmentation et de diminution, à partir de cette tranche, étant moins rapides que dans le prisme, on ne sera pas obligé d'élever le maximum de chaleur à un aussi haut degré, pour établir un intervalle assez grand pendant lequel le minérai puisse fondre. De plus, le rétrécissement successif des surfaces, à mesure que le minérai descend, diminue la vîtesse de sa chûte, parce qu'il est toujours resserré et comprimé avec le charbon, et qu'il est forcé de mettre plus de temps à parcourir les hauteurs égales des tranches successives.

Mais si cette forme dc fourneaux, employée à Bresse en Italie, présente les deux avantages, d'avoir le maximum de température à unc plus grandc hauteur au-dessus de la tuyère, ct de retarder le temps de la descente du charbon dans les tranches plus échauffées, elle a aussi dcux défauts assez considérables, qu'il faut soigneusement éviter. Le premier, que la normalc, à la surface *ab*, contribue, en s'élevant, à donner au calorique rayonnant une direction ascensionnelle qui favorise sa dissipation par l'ouverture supérieure; le second, que cette onverture étant très-large, une grande surface de combustible est cn

contact avec l'air extérieur; celui-ci, beaucoup plus froid que le combustible, lui enlève une grande partie de sa chaleur, et le refroidit d'autant plus que la surface de contact est plus grande : cette diminution se propage dans l'intérieur à une grande distance, parce que le refroidissement est très-considérable.

Cette dernière cause, contribuant à faire perdre une portion de calorique plus grande que celle que l'on perd dans le prisme, doit être évitée, ou du moins très-modifiée.

239. Lorsque le cône est posé sur sa base Z, comme dans plusieurs *stuck-offen* de Styrie et de Carinthie, dans quelques fourneaux à mouler de la poterie, etc.

La variation de température, occasionnée par la plus grande diminution de l'oxigène dans la masse d'air, pendant qu'il s'élève, et par les grands diamètres des tranches inférieures, concourt également à faire diminuer la température de celles-ci à mesure que leur hauteur augmente; ces deux causes portent le maximum de chaleur à la tranche qui est très-voisine de la tuyère. Ainsi, pour que la température propre à la fusion se répande dans une étendue un peu considérable, il faudrait que le maximum de chaleur fût beaucoup plus élevé, en degrés, que dans la cuve prismatique, non-seulement à cause de la marche de la température, mais encore à cause de l'accélération dans la vitesse de la descente du minérai, vitesse qui l'empêche de rester assez long-temps dans la tranche de haute température pour y être fondu; et comme il arrive constamment de nouvel air qui consume rapidement le charbon qui est près de la tuyère, il se forme de grands espaces vides, à travers lesquels le minérai, plus pesant que le charbon, coule et tombe rapidement.

Cette forme a cependant quelques avantages : 1° le calorique rayonnant est dirigé par le bas *ab*; 2° l'ouverture de l'embouchure supérieure est diminuée, et par là elle occasionne moins de refroidissement, et par conséquent moins de perte de calorique.

Ces formes, que l'on peut employer avec quelque avantage dans les stuck-offen, présentent, pour les fluss-offen, un grand défaut, qu'ils partagent avec les fourneaux prismatiques : c'est que le fond de ces four-

neaux (sur lequel le métal fondu se réunit) étant très-large, la fonte s'oxide facilement, se fige trop promptement, et se sépare avec difficulté de ses scories. L'expérience et la théorie nous apprennent que les creusets des hauts fourneaux, qui reçoivent le métal en fusion, doivent avoir de petites dimensions pour conserver la fonte à l'état liquide, et l'épurer.

240. Les fourneaux dont le vide intérieur se compose d'un prisme posé sur une pyramide renversée &, comme celui de Laurwig en Norwège, participent à-la-fois de l'avantage du fourneau pyramidal posé sur sa troncature, et du désavantage du fourneau prismatique : la large ouverture du gueulard occasionne une trop grande perte de chaleur.

241. De toutes les formes de fourneaux, celles qui réunissent le plus d'avantages, en modifiant les inconvénients, ce sont celles dont la cuve est composée de deux pyramides opposées base à base AA; c'est la forme adoptée en Styrie, en Carinthie, et chez presque toutes les nations de l'Europe, à quelques modifications près.

La pyramide inférieure, posée sur sa troncature, a le double avantage d'élever le foyer, c'est-à-dire, la tranche de plus haute température, de la placer à une distance assez grande au-dessus de la tuyère, et de ralentir la chûte du minérai de manière à le maintenir long-temps dans l'espace propre à la fusion. La pyramide supérieure, posée sur sa base, diminue l'ouverture ou la surface de contact avec l'air, par conséquent la cause du refroidissement qu'elle fait naitre. L'inclinaison des parois de la pyramide supérieure réfléchit la chaleur rayonnante par le bas, et augmente, par ce moyen, la température du foyer; on peut même donner à la pyramide inférieure une inclinaison telle, que le maximum de température soit à la partie la plus large de la cuve, à la réunion des bases des deux pyramides : à partir de ce point, la chaleur peut diminuer insensiblement jusqu'à la tuyère, de manière à retenir très-long-temps le minérai exposé à la plus haute température du fourneau, qui est celle de la fusion.

242. Les fourneaux dont la cuve a la forme d'une ellipsoïde de révolution AB, tronquée aux extrémités du grand axe, tels que plusieurs *stucks-offen* de Styrie et de Carinthie, peuvent être considérés comme

une modification de deux pyramides opposées base à base. Quelques métallurgistes, séduits par cette propriété qu'a l'ellipsoïde de réfléchir toute la chaleur de l'un de ses foyers à l'autre, pourraient encore les regarder comme un perfectionnement de la première forme; mais il ne faut pas abuser ici de l'effet de la réflexion de la chaleur rayonnante, car son influence n'est pas aussi grande que l'on pourrait être porté à le croire. Ces beaux résultats de la réflexion de la chaleur, par les parois d'un fourneau vide et libre, sont considérablement contrariés par la matière du combustible et celle du minérai qui remplissent sa cheminée. Tout fait croire même que les réflexions diverses, qui ont lieu sur la surface de ces substances, produisent des effets qu'il est impossible d'apprécier. Ce sont donc moins les résultats de la réflexion de la chaleur rayonnante qu'il faut considérer dans la théorie de la distribution de la température, dans la cuve d'un haut fourneau, que la répartition qui résulte de la proportion d'oxigène dans la masse du combustible embrasé à-la-fois, et du refroidissement occasionné par le contact des parois et celui de l'air extérieur à l'ouverture.

Nous voilà donc arrivés, par des considérations de pure théorie, à une forme assez avantageuse; et, ce qu'il y a de remarquable, c'est que c'est justement celle qui est le plus généralement adoptée, et à laquelle il paraît que l'on n'est parvenu que par une suite de tâtonnements.

243. Examinons maintenant quelles doivent être les dimensions et les proportions des hauts fourneaux, en partant de ce principe : que le diamètre doit augmenter, à partir du sol, jusqu'à une certaine hauteur, puisqu'il doit diminuer jusqu'à l'ouverture supérieure.

Les cuves des hauts fourneaux A, (planche 13) construits d'après ce principe, se divisent en deux parties, à commencer de leur plus grand diamètre; la pyramide supérieure, connue sous le nom de *grande masse*, de *cheminée supérieure*, ou de *la charge a*; la pyramide inférieure, connue sous le nom de *grand foyer b*; c'est dans la partie supérieure que le minérai s'échauffe, se réduit, se désoxide et se prépare à la fusion; c'est dans la partie inférieure qu'il reçoit sa haute température; qu'il fond, qu'il coule dans le creuset, et s'y sépare des verres terreux, des laitiers :

ces deux parties du fourneau produisant des effets tout-à-fait différents, doivent aussi avoir des formes et des proportions analogues aux effets qu'ils doivent produire.

244. *La grande masse*, ou *la charge*, n'est formée, dans quelques fourneaux, que d'une seule pyramide B; l'ouverture supérieure se nomme *gueulard;* la base de la pyramide, la partie la plus large du fourneau, prend le nom de *ventre*, ou *foyer supérieur*. Le sommet de la pyramide est souvent terminé par un prisme C, ou par une espèce d'entonnoir D, auquel on donne le nom de *petite masse supérieure*, ou de *bure*. Cette petite masse est la mesure ou le volume du combustible, du minérai et des fondants que l'on jette à-la-fois dans le fourneau, et auquel on donne le nom de *charge*. Les chargeurs ont une verge de fer courbée, qu'ils nomment *bécasse* U; c'est avec cet instrument qu'ils mesurent le point où la charge est descendue, et qu'ils déterminent le moment où il faut charger de nouveau.

245. *Le grand foyer*, ou le vide inférieur, n'est composé, dans quelques fourneaux, comme dans ceux de Styrie et de Carinthie, que d'une seule pyramide tronquée posée sur son sommet ou sur sa troncature; mais, dans le plus grand nombre des fourneaux, le grand foyer se divise en deux ou en trois parties E; lorsqu'il est divisé en deux F, la partie inférieure *a*, que l'on nomme *creuset* (parce que le métal fondu s'y dépose et s'y accumule), a la forme d'un prisme. Lorsque le grand foyer est divisé en trois parties E, la première a la forme d'une pyramide très-évasée *c*, à laquelle on a donné le nom d'*étalages;* la seconde, qui est placée au milieu *b*, est une pyramide tronquée dont les faces sont peu inclinées; on la nomme l'*ouvrage;* enfin, la troisième a ordinairement la forme d'un prisme quadrangulaire *a*, qui prend le nom de *creuset*.

246. Chacune des deux parties qui composent la cuve, et celles de leurs divisions, ont des proportions différentes dans chaque pays; nous allons examiner et discuter ici ces proportions.

Afin de nous assurer si elles ont quelque influence sur la marche des fourneaux, sur la qualité du fer que l'on obtient, et sur l'économie du

combustible que l'on emploie, nous comparerons d'abord les produits des fourneaux relativement à leur hauteur, ensuite par rapport à la position du plan de séparation des deux pyramides, puis à la grandeur de leur base, à la forme des étalages, au nombre de leurs tuyères; enfin, à la nature du minérai que l'on y traite.

Pour obtenir un résultat utile de la comparaison de la marche et des produits des fourneaux qui ont des formes et des hauteurs différentes, il faut d'abord choisir parmi ceux dont le travail est le même et dans lesquels on brûle le même combustible. Ainsi nous distinguerons les fourneaux qui servent à fondre le minérai avec du charbon de houille, de ceux dans lesquels on le fond avec du charbon de bois; et comme les premiers ne sont pas encore assez multipliés, nous ne comparerons, dans ce moment, que les fourneaux dans lesquels on brûle du charbon de bois. Parmi ces derniers, il y en a qui ne fondent que pendant six jours de la semaine et qu'on laisse reposer le septième, tels sont les *stucks* et les *fluss-offen* de Styrie et de Carinthie, qui n'ont que 12 pieds de haut : tous les autres restent en feu, et continuent de fondre aussi long-temps que les parois inférieures du fourneau, l'approvisionnement des combustibles et du minérai, et l'abondance des eaux le permettent. Cette différence entre la durée du travail de ces deux espèces de fourneaux nous détermine encore à ne comparer entre eux que les produits des derniers; ce sont aussi ceux dont on fait le plus généralement usage.

De la Comparaison des Fourneaux qui ont des hauteurs différentes.

247. La hauteur des fourneaux dans lesquels on brûle du charbon de bois, et dans lesquels la fusion se continue aussi long-temps que les circonstances le permettent, varient entre 16 et 45 pieds de hauteur, depuis le fond du creuset jusqu'à l'extrémité du gueulard; le premier est le fourneau de Neuberg en Styrie; il consume 221 parties pondérables de charbon pour en produire 100 de fonte; le second est celui de Newjamskoï en Sybérie; il consume 159 parties de charbon pour produire la même quantité de fonte.

Si l'on considère ces deux résultats où l'on ne compare que deux fourneaux de hauteur différente, on est tenté de conclure que, plus les fourneaux sont hauts, et plus ils sont avantageux. Que l'on se garde d'une conclusion aussi précipitée; car on ne peut établir aucune comparaison entre les produits de ces deux fourneaux. Le premier est employé à fondre des minérais de fer spathique; sa cuve, formée de deux pyramides opposées base à base, et dont le foyer supérieur a 6 pieds de large, n'est élevé que de 5 pieds 6 pouces au-dessus du fond du creuset; l'autre est destiné à fondre des oxides mamelonnés rouges et bruns, et des oxidules métalloïdes; le ventre qui a 11 pieds de diamètre est élevé de 6 pieds au-dessus du fond du creuset, et le grand foyer est composé d'étalages, d'une petite masse et d'un creuset; ainsi, les deux résultats cités ne peuvent être comparés, ni par la nature du minérai que l'on traite, ni par la forme du grand foyer du fourneau.

248. Si l'on voulait conclure les hauteurs les plus favorables des fourneaux d'après la plus grande quantité de fonte qu'ils produisent avec la même quantité de combustible, il faudrait comparer entre eux des fourneaux de même forme, employés à fondre des minérais semblables, et autant qu'il serait possible, dans le même pays, afin que le mode de travail fût le même. L'ouvrage de Marscher nous a fourni, à cet égard, un objet de comparaison précieux : c'est le tableau de la consommation du charbon, relativement à la quantité de fonte obtenue dans un grand nombre d'usines de Styrie et de Carinthie, dont les fourneaux ont des formes analogues, et dans lesquels on traite le même minérai, du fer spathique, où l'on emploie des charbons qui présentent peu de différence dans leur combustibilité, et où les ouvriers suivent une même méthode.

TABLEAU des Consommations et des Produits de vingt-cinq hauts fourneaux de Styrie et de Carinthie.

NOMS des FOURNEAUX.	HAUTEUR DES FOURNEAUX			LARGEUR		CONSOMMATION		POIDS	
	TOTAL.	de la charge.	du grand foyer.	du ventre.	du gueulard.	d'air en une minute.	de charbon pour 100 liv. de fonte.	de fonte p. 100 l. de minerai.	de fonte dans les 24 heures.
CARINTHIE.	P. °	P. °	P. °	po.	po.	Pied cub.	Liv.	Liv.	Quint.
1. Des terres de la famille de Rauscher	18	9	9	45	17	400	138	43	51
2. *Idem*	18	9	9	45	17	500	137	42	52
3. *Idem*	18	9	9	45	17	500	128	43	56
4. *Idem*	20	10	10	45	17	600	117	43	63
5. *Idem*	20	10	10	45	17	....	110	42	64
6. *Idem*	24	14	10	46	17	....	106	42	67
7. *Idem*	24	14	10	48	17	....	95	45	71
8. *Idem*	30	20	10	48	20	650	95	47	75
9. *Idem*	29, 5	20	9, 5	48	23	550	131	47	86
10. De Saint-Léonard	20, 9	10, 6	9, 6	48	18	....	260	37	31
12. De Sainte-Gertrude	20, 6	10, 3	9, 9	46	18	....	299	45	35
14. *Idem*	23, 6	11, 9	11, 9	48	20	....	183	40	48
21. Huttenberg	22	13	9	48	20	....	184	48	61
22. De Mossinz	27	17	10	48	24	700	150	52	79
23. De Loelling	28	18	10	54	20	....	107	50	88
24. De Huttl	28	18, 6	9, 6	51	23, [illegible]	....	195	38	71
25. De Feystritz	28, 6	16, 8	11, 10	63	22	1500	99	46	80
STYRIE.									
26. Neuberg	16, 6	11, 3	5, 3	72	26	400	221	36	32
27. *Idem*	21	13, 9	7, 3	72	26	5 à 600	196	32	40
29. *Idem*	24	14, 9	9, 3	72	25	....	130	32	50
30. Gollrath	21	10	11	54	24	....	214	41	34
32. *Idem*	24	12, 9	11, 3	44	....	....	156	46	46
34. Vordernberg	17	11	6	46	13	4 à 500	147	47	50
35. *Idem*	18	11, 3	6, 9	51	16	....	132	....	60
36. *Idem*	19	12, 8	6, 4	50	18	....	132	....	60
37. *Idem*	19	12, 7	6, 5	54	19	6 à 700	117	....	70
38. Eisenerz	19	13	6	80	34	8 à 900	184	40	80
39. *Idem*	19	.....	.....	....	....	....	....	....	....
41. De Lichtenstein	23, 9	12, 9	11	40	18	800	160	53	30
FOURN. A DEUX TUYÈRES.									
CARINTHIE.									
69. A Treybach	35	25	10	72	24	1800	123	48	112
STYRIE.									
72. A Vordernberg	19	12	7	60	21	1000	132	50	95
73. *Idem*	20	13	7	58	21	800	107	50	80
74. A Eisenertz	30	19	11	96	30	1000	182	40	110
76. Aux Bénédictins de Rettelstein	20	.....	.....	62	21	....	66	26	53

En comparant la consommation aux produits, dans ce tableau, on voit que de tous ces fourneaux, le plus avantageux est celui des Bénédictins de *Rettelstein*, qui a 20 pieds de haut, et qui ne consume que 66 parties pondérables de charbon pour 100 de fonte obtenue; mais on voit aussi que le moins avantageux est celui de Sainte-Gertrude en Carinthie, qui a également 20 pieds 6 pouces de haut, et qui consume 299 parties de charbon pour 100 de fonte.

Le fourneau le plus haut, celui de Treybach en Carinthie, qui a 35 pieds d'élévation, consume 125 parties de charbon pour 100 de fonte, et celui de Vordernberg en Styrie, (qui est un des plus bas, puisqu'il n'a que 17 pieds de haut) ne consume que 157 de charbon pour 100 de fonte. On voit encore, qu'entre 6 fourneaux de 20 pieds de haut, savoir : deux des terres de la famille de Rauscher, un de Saint-Léonard et un de Sainte-Gertrude en Carinthie, un de Vordernberg, un de Rettelstein en Styrie; le premier consume 117, le second 110, le troisième 260, le quatrième 299, le cinquième 117, et le sixième 66 parties de charbon pour produire 100 de fonte. Ainsi, du plus fort au plus faible, dans des fourneaux de même hauteur, la consommation du charbon est comme 1 : 4, 5.

249. Comme l'ouvrage de Marscher présente un grand nombre de comparaisons entre la dépense et les produits des fourneaux, et leurs dimensions, peut-être sera-t-il bon de comparer encore quelques nouveaux produits, aux hauteurs des fourneaux qui les donnent; nous allons, pour cela, présenter une suite de résultats les plus positifs de son ouvrage.

TABLEAU des Consommations et des Produits de seize hauts fourneaux de différents pays.

LIEUX des FOURNEAUX.	DIMENSIONS DES FOURNEAUX.						CONSOMMATION		PRODUIT		MINÉRAIS DE FER.
	HAUTEUR			LARGEUR							
	TOTAL.	de la charge.	du grand foyer.	du ventre.	du gueulard.	du creuset	d'air par minute	de charb. p' 100 de fer.	du minér. p' 100.	de fonte p' 24 heures.	
BOHÊME.	P. °	P. °	P. °	P. °	po.	po.	P. cub.	Liv.	Liv.	Liv.	
42. Horzowitz	32	0	....	84	....	....	....	184	32	77	Oxide rouge et dur.
BASSE-HONGRIE.											
44. Libethen	23, 6	14, 3	9, 7	57	23	15	....	549	25	60	Oxide siliceux refractaire.
45. Poinick	25	16	9	64	25	15	....	484	25	65	
46. Rohnitz	25	16	9	57	25	13	....	404	26	70	Oxides argileux et mamelonnés.
47. *Idem*	28	18, 8	9, 3	64	26	13	....	361	26	80	
48. Theisholz	25	17, 1	7, 11	64	23	12	....	342	38	72	Oxides bruns mamelonnés.
NORWÈGE.											
51. Lauerwig	29, 4	20, 7	8, 9	9, 4	47	25	....	....	44	8	Oxidule, oxide brun et spath.
SAXE.											
52. St.-Georgen-Stadt.	19, 6	13, 7	5, 11	56	27	14	....	195	38	49	Oxide mamelonné rouge.
HESSE.											
55. Schmalkalden	20, 8	10, 9	9, 11	63	20	24	....	168	48	58	Fer spathique.
SIBÉRIE.											
60. Ruschwinskoï	23, 9	17, 8	6, 1	80	....	22	....	321	50	124	Oxidule magnétique.
61. *Idem*	35, 2	291	6, 1	106	....	....	....	356	51	155	
65. Petrokamenskoï	35, 3	22	13, 3	137	74°	23	12 à 15	160	52	415	Mamelonné rouge et brun.
68. Newjamskoï	41	27, 7	13, 5	137	80°	31	1800	115	62	630	Oxidule et mamelonné.
SUÈDE.											
A deux tuyères	24	19	5	80	50°	19	....	126	47	180	Oxidule de fer métalloïde
BASSE-HONGRIE.											
77. Mitterwald	30	20	10	84	30°	42	120	201	36	179	Oxide mamelonné rouge oxidulé.
SAXE (1).											
Joh. Georgen Stadt	21	16, 8	4, 4	60	26°	20	....	....	....	....	....

(1) Voyage métallurgique de Jars et Duhamel, tome 1[er], page 73.

On trouve encore, dans ce tableau, de nouveaux moyens de comparer les produits aux consommations dans des fourneaux de différentes hauteurs; ce sont ceux de Sibérie, dans lesquels on fond des mélanges d'oxidules de fer, et d'oxides de fer mamelonnés.

Pendant long-temps on n'a traité le minérai de fer en Sibérie que dans des fourneaux de 20 à 27 pieds de haut, où l'on consumait de 222 à 370 parties de charbon pour 100 de fonte. On a cherché, à l'imitation des Anglais, à élever ces fourneaux, d'abord à 33 pieds, puis à 41, et enfin à 45; la consommation dans les fourneaux de 32 à 35 pieds n'a plus été alors que de 130 à 160 parties de charbon pour 100 de fonte; celui de 45 pieds, 115. Il semblerait donc, d'après ce simple aperçu, que l'élévation des fourneaux de Sibérie a diminué considérablement la consommation de charbon; mais on trouve qu'un fourneau de Kamenskoï, de 26 pieds de haut, ne consumait que 166 parties de charbon pour 100 de fonte, tandis qu'un autre fourneau, de Petrokaminskoï, de 35 pieds de haut, et construit depuis, consume 356 parties de charbon pour fondre 100 parties de fer cru; et dans le même lieu, un fourneau de 23 pieds 9 pouces de haut, consume 321 parties de charbon; enfin, à Newjamskoï, le fourneau de 41 pieds consume 115 pieds de charbon pour 100 de fonte, tandis que celui de 45 pieds en consume 157.

Osons l'avouer, nous n'avons pas encore de données assez certaines pour déterminer, d'avance, la hauteur la plus favorable à un haut fourneau; cette hauteur doit dépendre de la forme de la cuve, de la nature du minérai que l'on fond, de la nature et de la proportion des fondants que l'on emploie, du combustible dont on se sert, de la quantité d'air dont on peut disposer, et du mode de travail que l'on suit; ainsi, malgré les raisonnements appliqués à la détermination de la hauteur des fourneaux, dans un grand nombre d'ouvrages de métallurgie, il faut encore en appeler à l'expérience dans chaque usine.

Nous ne pousserons pas plus loin la comparaison des fourneaux de Styrie et de Carinthie, il est facile de voir et de conclure, d'après les tableaux de la consommation et des produits des hauts fourneaux, qui viennent d'être présentés, que de petites ou de grandes variations dans

la hauteur n'occasionnent pas de grandes différences dans la consommation du combustible, ainsi qu'on l'observe dans les produits de ces fourneaux, comparés aux dépenses qu'ils occasionnent.

Comparaison des produits avec la hauteur du foyer supérieur.

250. La hauteur du grand foyer, dans tous les fourneaux de Styrie et de Carinthie, varie entre 5 pieds 3 pouces et 11 pieds 9 pouces, conséquemment plus que de 1 : 2; elle se trouve généralement entre les $\frac{2}{7}$ et la moitié de la hauteur totale. Si l'on compare les produits avec cette hauteur du grand foyer, on voit que, parmi celles qui ont environ 10 pieds de haut, ou qui sont sensiblement à la moitié de la hauteur totale, les uns consument 95, et les autres 299 parties de charbon pour 100 de fonte.

Comparaison des produits avec la forme des ventres.

251. L'intérieur du fourneau des Bénédictins de *Rettelstein* est une surface de révolution, il est formé de deux cônes posés l'un sur l'autre par leur base; tous les autres fourneaux de Styrie et de Carinthie, dont les produits sont rapportés dans ce tableau, ont leur cuve formée de deux pyramides quandrangulaires, posées l'une sur l'autre par leur base. Rapportera-t-on à cette forme particulière le grand avantage qu'a ce fourneau sur les autres? Cette forme circulaire peut et doit, à la vérité, influer sur les produits; mais il n'est pas probable qu'elle seule occasionne cette énorme différence dans la consommation; et d'ailleurs, parmi les fourneaux quadrangulaires, il en est deux dont la consommation approche beaucoup de celle du fourneau des Bénédictins, puisqu'ils ne consument que 95 parties de charbon pour 100 de fonte.

Comparaison avec le nombre de tuyères.

252. Comme le fourneau des Bénédictins de *Rettelstein* a deux tuyères, on pourrait attribuer l'avantage qu'il procure aux deux courants d'air qui arrivent à-la-fois de deux côtés opposés; mais parmi les fourneaux qui ont deux tuyères, celui d'Eisenerz, de 30 pieds de haut, consume

182 parties de charbon pour 100 de fonte; et le fourneau de Carinthie, de 30 pieds de haut, qui n'a qu'une tuyère, celui de la famille de Rauscher, indiqué sous le nº 8, ne consument que 95 parties de charbon. Quoique la différence de la dépense de combustible, pour produire la même quantité de fonte dans les fourneaux à deux tuyères, de même dimension, soit presque du simple au double, on doit cependant observer que le *maximum* de dépense de ces fourneaux n'est que les $\frac{2}{3}$ environ de celui de semblables fourneaux qui n'ont qu'une seule tuyère, et que celui qui consume le moins de charbon est justement placé parmi les fourneaux à deux tuyères.

Comparaison de la dépense avec la richesse du minérai.

253. En comparant la richesse du minérai que l'on emploie dans chacun de ces fourneaux à la proportion de charbon qu'il exige pour être fondu, on voit que le minérai le plus riche, celui qui produit 55 pour 100, consume 160 parties de charbon pour 100 de fonte, et que le plus pauvre, celui qui n'en produit que 26 pour 100, n'en consume que 66. Ce résultat s'accorderait assez bien avec celui que l'on observe généralement, que les minérais les plus riches sont les plus difficiles à traiter aux hauts fourneaux, qu'ils donnent de la fonte moins bonne, et consument plus de charbon que les pauvres. Mais nous verrons par la suite à quoi tient cette différence, et comment on peut fondre, avec beaucoup d'avantage, les minérais riches.

Cependant le minérai qui consume le plus de charbon, 299 pour 100, ne rend que 45 de fonte pour 100 de minérai, et ceux qui en consument le plus, après celui-ci, 260 pour 100 de fonte, ne rendent que 37 pour 100, tandis que des minérais qui rendent 45 et 47 pour 100, ne consument que 95 de charbon pour 100 de fonte obtenue.

254. Cette comparaison entre les fourneaux de même forme, qui traitent des minérais de même nature, des fers spathiques, ne nous conduisant à aucune conclusion heureuse et satisfaisante, nous abandonnerons, pour un moment, ce mode de déterminer les proportions des hauts fourneaux, relativement à l'espèce de minérai qu'on y traite, et

nous croyons que le guide le plus sûr, jusqu'à présent, est celui du tâtonnement, pour déterminer les formes et les dimensions les plus favorables; c'est aussi la méthode que l'on suit en Suède depuis 1749, que le célèbre Rinmann a été nommé grand-maître des hauts fourneaux de ce pays, si riche en bon fer, et dont on a obtenu de très-heureux effets (1). Les formes, les dimensions, et les proportions les plus favorables des hauts fourneaux des anciens Goths, sont presque fixées, aujourd'hui, pour les espèces de minérais que l'on traite, c'est-à-dire, des mines oxidulées et des oxides mamelonnés. Nous ferons connaître ces proportions; mais que l'on ne se trompe pas, et que l'on ne croie pas appliquer de suite ces fourneaux à toutes les variétés de minérai que l'on exploite ailleurs. Chaque variété, pour être fondue avec économie, doit être traité dans des fourneaux qui aient des formes et des dimensions particulières.

Nous ne nous dissimulerons pas que, dans les comparaisons de la consommation du charbon, aux produits des fourneaux de Styrie et de Carinthie, il nous manque une donnée; c'est l'analyse de ces sortes de

(1) Avant la nomination du grand-maître Rinmann, on suivait, dans chaque canton, des méthodes particulières; on consumait des proportions de charbon très-différentes, et l'on obtenait des fers dont les qualités présentaient de grandes variétés. Depuis le moment où le grand-maître a établi sa surveillance, les travaux se sont régularisés : on a porté une grande économie dans la dépense du combustible, et le fer obtenu a été amélioré au point de lui mériter cette grande réputation dont il jouit actuellement.

Nous devons exprimer ici les vœux que nous formons, pour qu'il soit nommé, dans l'Empire français, un inspecteur-général des mines, chargé spécialement de la direction des expériences à faire pour déterminer la forme et les dimensions que doivent avoir, dans chaque lieu, les hauts fourneaux, et cela relativement aux localités, à la variété du minérai, et à la nature du combustible. Cet inspecteur-général, en modifiant, en améliorant les formes des hauts fourneaux dont on fait usage, procurerait une économie très-considérable dans la consommation du combustible, en produisant une fonte plus abondante et de meilleure qualité que celle que l'on obtient aujourd'hui; et en diminuant la dépense du combustible que l'on emploie pour obtenir les différents fers qui sont si utiles dans les arts, dans les constructions et dans les manufactures, il affranchirait, en quelque sorte, la France de la dépendance des étrangers, dépendance où elle se trouve nécessairement par le besoin qu'elle a de ce métal.

minérais. Quoique ce soit des fers spathiques que l'on traite, ces minérais peuvent être plus ou moins fusibles, suivant la nature de leurs composants, et principalement la nature et les proportions des terres, des pierres et des gangues qui les accompagnent; nous savons que, dans quelques usines, on ajoute de la castine au minérai; mais nous ignorons si cette terre est utile ou nuisible. Nous savons encore que plusieurs minérais sont grillés et ensuite exposés à l'air; que, dans cette exposition, la magnésie en est séparée; mais la soustraction de cette magnésie est-elle toujours nécessaire? n'existe-t-il pas un grand nombre de cas où il serait plus utile de la laisser? Ainsi, faute de ces données, les opérations sont enveloppées de nuages que nous ne pouvons encore dissiper. Si l'on ne peut pas, à l'aide du tableau des consommations et des produits des hauts fourneaux de Styrie et de Carinthie, déterminer la forme, les dimensions et les proportions les plus favorables à ces fourneaux, si l'on est encore obligé d'en appeler à l'expérience pour déterminer les formes de fourneaux les plus favorables pour fondre avec économie chaque espèce de minérai, essayons, en continuant notre discussion sur la forme des hauts fourneaux, d'indiquer les moyens que l'on doit employer pour bien faire ces expériences, et ponr arriver à un résultat positif.

255. On a vu précédemment que la cuve des hauts fourneaux doit être divisée en deux parties : *cheminée supérieure* et *grand foyer;* que la cheminée supérieure a pour objet de désoxider le métal, de le réduire et de le préparer à la fusion, tandis que la seconde partie (le grand foyer) est destinée à le fondre, et à en séparer, sous forme de laitier ou de verre terreux, les terres qui étaient mélangées ou combinées avec le métal.

La hauteur du grand foyer et la largeur du ventre varient dans chaque fourneau. Dans ceux de 20 à 30 pieds d'élévation, cette hauteur est entre 5 pieds et 10 pieds; dans quelques fourneaux de Styrie, les grands foyers ont jusqu'à 12 pieds d'élévation au-dessus du sol. La largeur du ventre est, pour les mêmes fourneaux, entre 50 et 94 pouces; dans quelques fourneaux de Styrie, les ventres n'ont que 40 pouces de large; mais on a l'habitude, dans ce pays, de donner aux fourneaux des largeurs qui sont généralement moins étendues que dans les antres pays.

Si l'on voulait comparer la hauteur du grand foyer à la hauteur totale des fourneaux, on verrait qu'elle est, en Suède, les $\frac{5}{24}$, un peu plus du 5e de la hauteur; et à Schmalkalden, les $\frac{109}{248}$ un peu moins que la moitié; quelques fourneaux de Carinthie ont cette hauteur à la moitié juste. Quant à la largeur du ventre, dans quelques fourneaux de Suède elle est plus considérable que la hauteur de la cheminée inférieure; les rapports sont :: 4 : 3; dans d'autres au contraire, comme à Libethen, en Basse-Hongrie, la largeur du ventre est égale à la moitié de la hauteur du grand foyer, donc les rapports sont :: 4 : 8.

La largeur du ventre et la hauteur du grand foyer ont pour objet d'amener la plus haute température vers cette partie de la cuve; mais pour que la température y soit très-élevée, il faut que l'air qui y arrive contienne encore beaucoup d'oxigène, et que la masse de combustible et la largeur de sa tranche soient très-grandes, et toujours proportionnées à la quantité d'air qui les traverse; or, dans des fourneaux de 20 à 30 pieds de hauteur, pour que l'air conserve assez d'oxigène en arrivant à la cavité du ventre, (lorsque la quantité d'air fournie par les machines soufflantes varie entre 5 et 9 cents pieds cubes dans une minute) il faut que le cône tronqué, rempli du combustible que l'air traverse, n'ait pas plus de 6 à 7 pieds de haut, et que la base de ce cône, ou la largeur du ventre, soit à-peu-près égale à sa hauteur; ce sont ces dimensions qui produisent assez communément les meilleurs effets. Lorsque les fourneaux ont une plus grande élévation, qu'ils ont entre 30 et 45 pieds de haut, comme quelques fourneaux de Sybérie, et que les machines soufflantes produisent de 12 à 18 cents pieds cubes d'air par minute, on peut élever le foyer supérieur jusqu'à 10 à 11 pieds, et donner au ventre la même largeur. Dans les fourneaux anglais, les hauteurs du grand foyer sont environ le tiers de celles des fourneaux; ainsi elles ont 15 pieds pour les fourneaux de 45 pieds, et 20 pieds pour ceux de 60; la largeur du ventre, dans ces fourneaux, est de 12 pieds pour ceux de 45 pieds, et 14 pour ceux de 60; mais les fourneaux anglais consumant du charbon de houille, qui brûle moins facilement que celui de bois, peuvent et doivent avoir un foyer plus élevé, sans diminuer

davantage la proportion d'oxigène qui arrive aux étalages, et ils doivent aussi avoir une plus grande largeur de ventre pour produire la même température.

Ces hauteurs et ces largeurs du grand foyer, du foyer supérieur peuvent, relativement à la figure des fourneaux, éprouver des modifications.

Lorsque (comme dans les fourneaux de Styrie et de Carinthie) les foyers supérieurs sont formés d'un seul cône tronqué, posé sur sa troncature F, ou lorsqu'ils sont (comme dans les fourneaux de Suède) la prolongation d'une ellipsoïde de révolution G, leur hauteur doit être la plus petite possible, parce que ces sortes de vides contiennent beaucoup de charbon, et que l'air en arrivant, en traversant cette masse pour parvenir du foyer supérieur au ventre, doit être dépouillé d'une grande partie de son oxigène.

Mais lorsque la pyramide tronquée qui forme les étalages H, est séparée du creuset par une pyramide quadrangulaire étroite et alongée I, connue sous le nom d'*ouvrage*, ou de petite *masse inférieure*, le ventre peut avoir une plus grande élévation; parce que son volume étant peu considérable, l'air traverse peu de charbon avant d'arriver au ventre, et ne consume, dans ce passage, qu'une petite partie de son oxigène.

Aussi les fourneaux de Suède, dont le grand diamètre des étalages n'est qu'à 5 pieds de hauteur, sont-ils les plus parfaits que l'on ait construits jusqu'à présent, tandis que ceux de Styrie et de Carinthie, assez avantageux d'ailleurs, sont défectueux par leur trop grande hauteur.

Le vide auquel on donne le nom d'*ouvrage*, a généralement la forme d'une pyramide quadrangulaire, extrêmement alongée, dont la largeur inférieure varie entre 12 et 24 pouces, dans les fourneaux de 18 à 30 pieds, et la largeur supérieure, de 24 à 36 pouces; leur élévation est entre 2 et 5 pieds. L'ouvrage du fourneau de Schmalkalden a 8 pieds 2 pouces de haut, et 51 pouces de large dans la partie supérieure; mais c'est un cas très-particulier.

256. Les étalages qui sont au-dessus de l'ouvrage ont diverses formes et diverses élévations. Leur hauteur varie entre 2 et 5 pieds. Celle des

fourneaux de Schmalkalden est de 10 à 12 pouces. Leurs surfaces sont droites ou concaves, elles ont diverses inclinaisons.

Ces étalages sont droits dans le plus grand nombre des fourneaux, et en particulier, dans ceux de France; ils sont concaves GK dans ceux de Saxe et de Suède. La flèche de l'arc est très-petite dans les fourneaux de Saxe K, elle est beaucoup plus grande dans ceux de Suède G. Dans quelques fourneaux, les étalages ont une courbure un peu convexe.

La réunion de la partie supérieure des étalages avec la base de la cheminée supérieure se fait assez généralement dans un plan horizontal, quelquefois, cependant, ce plan est incliné. A la suite des expériences faites en Suède, sur les hauts fourneaux, on a trouvé qu'il était avantageux d'élever un peu les étalages sur les faces de la timpe et de la tuyère, et de leur donner en même-temps une plus grande inclinaison. Cette irrégularité, que l'on croit avantageuse pour les fourneaux de Suède, a été appliquée avec succès dans quelques fourneaux d'Allemagne. Cependant tout porte à croire qu'il serait plus nécessaire d'élever la face du contrevent, parce que c'est, en général, cette partie qui est la plus exposée à l'action de l'air et de l'oxidule de fer, et que c'est toujours celle qui se déforme le plus.

Quant à l'inclinaison des faces des étalages, elle varie M, depuis l'angle de 60° avec l'horizon, jusqu'à celui de 20°. Chaque constructeur donne, pour les mesures qu'il adopte, des raisons différentes. Les uns prétendent que les étalages doivent être très-inclinés N, afin que le minérai, en se fondant, glisse avec facilité, ne séjourne pas trop long-temps sur ses faces, et puisse tomber aisément dans le milieu du creuset. Les partisans de la petite inclinaison O prétendent qu'elle doit être telle, que le métal ait acquis de la fluidité pour pouvoir glisser et couler sur les parois, et qu'il faut que le minérai y soit retenu lorsqu'il n'est encore que ramolli, et qu'il est à l'état pâteux.

Quoique les raisons données par les partisans de la grande inclinaison soient illusoires, cependant la hauteur que produit cette grande inclinaison est nécessaire à un bon travail et à une bonne fusion. Les fourneaux de Conches, de la Bonneville, de la Ferrière, de Lire, département

de la Seine-Inférieure, qui ont 48 pouces de largeur de ventre, n'avaient que 30 pouces de hauteur en 1780; M. Dobson (1) a exhaussé les étalages, et leur a donné 66 pouces d'élévation. Il a en même-temps élevé la cheminée supérieure de quelques pieds; il en est résulté qu'au lieu de 160 milliers de fonte par charge, que rendaient ces fourneaux, ils en ont produit 200 par ce seul changement, et cela, avec la même consommation de charbon, de minérai et de castine; c'est par mois un bénéfice de 28 à 29 milliers de fonte.

Quoique les petites inclinaisons présentent l'avantage de retenir le minérai qui n'est pas encore fondu, et de l'exposer à l'action de la haute température qui a lieu dans cet endroit, il faut aussi que ces étalages aient assez de hauteur pour que l'espace qu'ils renferment acquière le *maximum* de température nécessaire pour fondre le minérai, et que ceux qui tombent dans l'axe du fourneau mettent un temps assez long pour être fondus, en traversant l'espace dont la température est assez élevée pour les liquéfier.

Les ouvrages des fourneaux de Suède, par leur courbure concave, réunissent le double avantage d'avoir un foyer de haute température d'une grande longueur, et de varier d'inclinaison de manière à pouvoir retenir, sur les bords de l'ouvrage, le minérai qui n'est pas encore fondu.

Lorsque les ouvrages sont hauts et larges, comme dans le fourneau de Schmalkalden, les étalages peuvent n'avoir qu'une très-petite hauteur, parce que l'ouvrage qui a une grande capacité, fait en quelque sorte fonction d'étalages.

257. Il est nécessaire que la cheminée supérieure ait une hauteur dépendante de la nature du minérai, et des préparations qu'il a éprouvées. Le minérai, en traversant la cheminée supérieure, doit subir toutes les opérations qui le disposent à la fusion, et qui sont propres à le séparer des verres terreux, des laitiers formés par les terres qui y sont mélangées ou combinées; il doit, en arrivant au grand foyer, être prêt à re-

(1) Annales des Arts et Manufactures, tome 5, page 225.

cevoir la haute température nécessaire à la fusion du métal et des verres terreux, et les disposer ainsi à se séparer par la différence de leur densité.

Lorsque le minérai a été grillé avant d'être porté au haut fourneau, lorsque les solides, les liquides et les gaz qui devaient être vaporisés en sont dégagés, la seule opération que les minérais doivent éprouver dans la cheminée supérieure, est une désoxidation; il faut, pour cela, qu'ils soient continuellement en contact avec du charbon embrasé, qu'une portion de carbone puisse pénétrer en nature, et même à l'état d'oxide de carbone, dans l'intérieur de ses fragments, pour désoxider le métal; il faut, en outre, qu'en éprouvant des températures successivement augmentées, le métal se ramolisse; que les affinités des terres entre elles, et des molécules de fer, l'une sur l'autre, s'exercent pour commencer à se désunir, et à se séparer; enfin, qu'en arrivant aux étalages, ils cèdent à la haute température qu'ils y éprouvent, et que le fer et les verres terreux puissent se fondre séparément.

C'est à disposer ainsi les minérais à la fusion, à la séparation des substances inutiles, que la cheminée supérieure est destinée; il faut donc qu'elle ait, pour remplir ce but, les dimensions qui lui conviennent.

Les hauteurs des cheminées supérieures varient. Dans les fourneaux de 18 à 30 pieds, elles ont de 10 à 20 pieds d'élévation : il en est, (comme dans quelques fourneaux de 20 pieds, de Styrie) qui ont la moitié de la hauteur totale; d'autres (comme dans les fourneaux de Suède, de 24 pieds) où les cheminées ont les $\frac{18}{24}$ de la hauteur totale, donc un peu moins que les $\frac{4}{5}$. Cette proportion est un peu trop grande, aussi n'est-elle qu'apparente dans ces fourneaux, car la hauteur, à partir du plus grand diamètre du ventre de la partie la plus large du fourneau, n'a que 16 pieds, ou les $\frac{2}{3}$ de la hauteur totale.

Quand les minérais n'ont pas subi un grillage préliminaire, qu'ils retiennent de l'eau et de l'acide carbonique, qu'ils contiennent des sulfures et des arséniures, et dont il faut vaporiser le soufre et l'arsenic, les cheminées supérieures doivent être plus élevées afin de favoriser ces vaporisations, soit avant, soit pendant que le minérai se réduit et se désoxide.

258. La base de la cheminée supérieure est donnée par la largeur du ventre; mais l'ouverture du gueulard doit être fixée de manière à ce qu'elle soit le plus propre à favoriser le travail.

Dans le plus grand nombre des fourneaux connus, l'ouverture des gueulards varie entre 20 et 50 pouces de large; dans les fourneaux de Styrie, elles ont de 16 à 30 pouces. Cette largeur est entre les $\frac{5}{8}$ et les $\frac{5}{13}$ de celle du ventre.

L'ouverture du gueulard a deux objets : 1° de faciliter la sortie de l'air qui n'a pas été consumé, des gaz qui se sont formés par la combustion, et des substances qui se sont vaporisées ; 2° de diminuer la surface de contact de l'air extérieur. Cette ouverture est comme une espèce de registre qui accélère ou retarde la sortie de l'air, et détermine le charbon à exercer une action plus ou moins grande sur les dernières portions d'oxigène, que l'air retient encore, lorsqu'il traverse le grand foyer. La quantité d'air employée, ainsi que la dimension de la cuve, doivent modifier, chacun en particulier, la grandeur de cette ouverture, dont le diamètre, ou les côtés horizontaux homologues, sont ordinairement moitié de ceux du ventre; d'où il suit que la surface de l'ouverture du gueulard doit être, à quelque chose près, le quart de celle du foyer supérieur.

259. Quoique l'on soit conduit, d'après cette discussion, à déterminer les proportions moyennes de toutes les parties qui composent le vide des fourneaux, et comme ces proportions peuvent varier dans chaque lieu, soit relativement à la nature du minérai, du combustible et des fondants, soit relativement au mode de travail que l'on suit, il est nécessaire d'en appeler à l'expérience, pour décider quelle est la forme la plus convenable, et quelles sont les proportions les plus propres à favoriser le travail.

Lorsque, par défaut d'eau, de minérai et de combustible, on arrête un fourneau qui va bien, et dont les parois ont été construites de matières qui ont pu être fondues ou altérées par l'action du feu, on remarque d'abord que, quelle que soit la forme primitive du fourneau, soit dans les tranches horizontales du milieu de l'ouvrage, soit dans celles

des étalages, s'il y a des altérations P, qui tendent à rendre circulaire chaque tranche horizontale.

En observant ensuite les altérations qui ont lieu dans le plan vertical, on remarque que les étalages se creusent peu à peu, et qu'ils tendent à prendre une courbure concave P, qui approche d'une ellipsoïde de révolution.

Ce sont ces deux premières altérations qui ont déterminé les Suédois à donner à leur fourneau la forme particulière qui leur est propre Q, et à laquelle ils ne sont parvenus que successivement.

« On examina, dit Garney (1), dans un grand nombre de fourneaux, « dont l'intérieur P était plus ou moins brûlé, fondu et changé, quelle « était la forme que prenait cet intérieur, et celle qui avait lieu lorsque « le travail allait le mieux. Le vide des fourneaux paraissait affecter une « forme constante, que l'on a déterminée en donnant au ventre du four- « neau diverses courbures. La grande difficulté consistait en ce que le feu « le mettait dans un état plus ou moins informe, selon que la forme pri- « mitive qu'on lui avait d'abord donnée était plus ou moins adaptée à « son action, et la connaissance de ces effets dépendait de la nature des « minérais. Il a fallu faire un grand nombre d'expériences, et recueillir « un grand nombre d'observations. Une indication en suggéra bientôt « une autre, et enfin on est parvenu, après des essais auxquels on « peut se fier, à déterminer la nature des courbures Q que l'on doit « donner au ventre des fourneaux, ainsi que les dimensions et la forme « qui convenaient à la cuve, suivant la nature des diverses minérais. »

Quoique la forme des fourneaux adoptée en Suède paraisse être la plus avantageuse, puisqu'elle résulte d'une suite d'expériences faites avec beaucoup de soin, exécutée par des hommes instruits, et qui jouissent d'une juste célébrité parmi les métallurgistes, nous ne croyons pas qu'on doive, dans ce moment, en recommander généralement l'usage, sans craindre de rencontrer des inconvénients graves. Chaque changement, chaque mode d'amélioration ne peuvent être introduits qu'avec

(1) Abhandlung vom Bau und Betrieb der hohoefen in Schweden, liv. 1er, ch. 5, §. B.

lenteur, et successivement; il faut, avant tout, que l'exemple serve de guide, et que la conviction ait été portée dans l'esprit des ouvriers, de manière à ne plus leur laisser de doute.

Si une amélioration brusque peut porter préjudice aux établissements où elle est introduite, les dangers sont beaucoup plus grands dans des usines, où la fortune d'un propriétaire, d'un directeur, d'un actionnaire peut être compromise dans le travail d'une campagne.

Indépendamment de la grande différence qui existe entre tous les fourneaux d'Europe et de Suède, une seconde raison doit encore retarder l'introduction de leur forme. Les minérais que l'on fond dans les autres pays peuvent différer essentiellement de ceux que l'on traite en Suède : ceux-ci sont assez généralement des oxidules de fer, et dans les autres pays on fond des fers spathiques, des oxides terreux limoneux, en masse ou en fragment, quelques-uns même à l'état pulvérulent. Cependant il est un changement assuré, déjà exécuté dans un grand nombre de fourneaux, changement qui a été recommandé par tous ceux qui ont écrit sur le travail du fer, et qu'il est étonnant que l'on n'ait pas encore exécuté généralement, c'est la forme circulaire des tranches horizontales des cuves. Que l'on n'objecte pas que la difficulté de construire des fourneaux circulaires s'y soit opposée jusqu'à présent; on verra, lorsque nous traiterons de la construction des fourneaux, combien il est plus facile de donner aux tranches des cuves une forme circulaire, que toute autre forme que la routine fait continuer.

260. Toutes les fois que l'on voudra chercher à connaître quelles sont les meilleures proportions et la meilleure forme qu'il convient de donner à son fourneau, relativement à la nature des minérais et des fondants que l'on y liquéfie, et au mode de fondre que l'on suit, il faudra diviser les expériences de recherches en deux parties: d'abord on s'occupera de déterminer quelles sont les proportions les plus favorables qu'il faut donner à la cheminée supérieure, puis à celle de la partie inférieure. La cheminée supérieure R peut, sans inconvénient, être augmentée de quelques pieds à chaque fondage, et cette augmentation doit se faire successivement et pendant plusieurs années de suite, jusqu'à ce que l'on

soit arrivé à une hauteur telle, qu'un peu plus, ou un peu moins d'élévation ne change pas sensiblement les quantités de fonte obtenues par une même masse de charbon. Cette méthode a été pratiquée avec beaucoup de succès par Ramus, au Creuzot, près Moncenis, département de Saône-et-Loire. Il est parvenu à déterminer ainsi, par des expériences réitérées et continuées plusienrs années de suite, la hauteur la plus favorable à la cheminée supérieure de son fourneau, pour obtenir la plus grande économie possible dans le combustible.

Lorsqu'on aura déterminé la hauteur de la cheminée supérieure, on s'occupera de celle des étalages S, que l'on remontera d'abord de 6° s'ils ne sont pas assez élevés : dans le cas où cet exhaussement augmenterait le produit, on les éleverait encore de la même quantité le fondage suivant, et cela continuellement, jusqu'à ce que, par une nouvelle addition, la quantité de fonte obtenue n'éprouve pas de variation ; alors on s'arrêterait à la hauteur qui a donné le plus grand produit, par rapport au charbon et au combustible employés.

Il est inutile d'observer, qu'en élevant les étalages on doit élever aussi la cheminée supérieure, afin de lui conserver la même hauteur.

Si pendant la durée de la première expérience, on obtenait, en exhaussant les étalages, un produit moindre que celui que l'on avait auparavant, il faudrait essayer un mode opposé, et diminuer cette hauteur jusqu'à ce que l'on soit arrivé à celle qui est le plus favorable à un bon fondage.

Ces deux modes d'expériences sont faciles à suivre en ce qu'ils n'exigent aucun travail considérable, qu'étant dirigés avec intelligence, les changements étant très-petits et introduits avec sagesse, il n'y a aucun danger à craindre.

L'expérience de l'augmentation de la hauteur de la cheminée a même cet avantage, que l'exhaussement pourrait être construit de manière à pouvoir être détruit, sans inconvénient, pendant le travail. Quant aux expériences sur les étalages, elles doivent être faites avec d'autant plus de précaution, que le changement introduit dans le fourneau doit exister pendant toute la durée de la campagne.

Les expériences sur les ouvertures du gueulard sont assez faciles à faire lorsqu'il ne faut que diminuer l'orifice; mais pour l'augmenter il faut défaire et reconstruire les parois supérieures du fourneau, ce qui occasionne un travail difficile et dispendieux.

Quant aux expériences sur les largeurs les plus favorables que l'on puisse donner au ventre, ce sont, et les plus difficiles et les plus assujétissantes; elles exigent, à chaque fois, la reconstruction des parois de toute la cheminée supérieure : elles doivent donc être faites avec d'autant plus de circonspection, que le changement introduit dans la largeur doit durer toute la campagne, et que, lorsque les matériaux sont bons, les parois peuvent servir à plusieurs fondages.

En général, lorsqu'on veut chercher à déterminer, par une suite de tâtonnements, la forme et les proportions les plus favorables que l'on puisse donner à un fourneau, relativement au minérai que l'on fond et aux fondants que l'on y ajoute, il faut bien se persuader de cette vérité, que toutes les dimensions doivent être en harmonie pour obtenir le produit le plus économique, et que, lorsque par des expériences on a changé avantageusement la forme ou les proportions d'une partie de fourneau, il faut encore trouver celles des autres parties qui concourent à augmenter l'effet que ce changement produit.

261. Il existe, dans le vide du fourneau, un espace qu'il est de toute nécessité de bien soigner, puisque, de ses proportions dépend souvent la bonne qualité de la fonte que l'on obtient; je veux parler du creuset.

Le *creuset* est un vide pratiqué au bas du fourneau, dont les faces sont verticales ou très-peu inclinées; c'est dans ce vide que sont reçus le métal fondu et les verres terreux qui l'accompagnent.

C'est dans le creuset que ces deux sortes de substances se séparent; c'est dans le creuset que le métal, qui a été fondu dans divers états d'oxidation, se réunit et se combine; que la fonte trop carbonée cède de son carbone à la fonte trop oxidée; que de ces mélanges et de cette décarbonisation résulte une opération qui rend la fonte propre aux divers usages auxquels on la destine.

La forme et les dimensions du creuset ayant une grande influence

sur ces combinaisons et ces épurations, elle exige les plus grands soins pour parvenir à les bien déterminer. Le directeur de l'Usine ne peut donc y apporter trop d'attention.

Les fourneaux retiennent la fonte, dans leurs creusets, pendant des temps différents, selon la grandeur de leur cheminée intérieure, la quantité de fonte que l'on coule à-la-fois, et l'épuration qu'elle éprouve dans le travail. Dans quelques fourneaux, comme ceux de Styrie et de Carinthie, on n'obtient à-la-fois que des saumons de 3 à 4 quintaux, et l'on coule toutes les deux ou quatre heures. Dans d'autres, les poids des gueuses sont de 15 à 25 quintaux, et l'on coule toutes les 10 ou 15 heures.

Plusieurs hauts fourneaux destinés à fondre des canons, doivent avoir un creuset capable de contenir la quantité de fonte nécessaire pour couler entièrement les pièces pour lesquelles on la destine; cette quantité varie en raison du calibre de la pièce. Le poids ordinaire des pièces de marine est, lorsqu'elles sont entièrement finies,

Pour les pièces de	6	courtes	1530.
		longues	1733.
	8	courtes	2036.
		longues	2282.
	12	courtes	2995.
		longues	4212.
	24	courtes	5166.
	36	longues	7190.

Et à cause de la masselote T, qu'il faut couler avec ces pièces, et de la limaille qu'on en retire, en les forant, la quantité de fonte employée doit être à-peu-près,

Pour les pièces de	6	2500.
	8	3200.
	12	5400.
	24	6500.
	36	9000.

Il faut toujours réunir une plus grande quantité de fonte dans le

creuset, à cause des accidents imprévus. La fonte surabondante est coulée séparément en objets de moulage qui peuvent être employés à des usages différents.

Les creusets peuvent être divisés en trois espèces : les premiers sont un prolongement de la pyramide inférieure de la cuve du fourneau; les seconds sont des prismes sur lesquels pose l'ouvrage ou les étalages; les troisièmes sont des vides qui se prolongent sous le massif du fourneau jusqu'aux parois de l'embrasure dans laquelle on pratique la coulée, c'est à-dire, jusqu'à la tympe.

Dans la plupart des fourneaux de Styrie et de Carinthie, on laisse accumuler la fonte et les scories ensemble dans le creuset, et ces deux substances se coulent à-la-fois. Les creusets, dans ces sortes de fourneaux, sont de la première espèce A (planche 14); ils sont formés par la continuation de la pyramide tronquée qui constitue le grand foyer : leur plan est ordinairement carré; la longueur des côtes varie entre 17 et 30 pouces, et l'ouverture de la tuyère *a*, qui termine la hauteur des creusets, est élevée de 12 à 20 pouces au-dessus du fond. La capacité des creusets peut varier entre 4,000 et 14,000 pouces cubes.

Dans les anciens creusets allemands, on ne laissait la fonte recouverte que d'une petite couche de scories, et on faisait couler, par des ouvertures faites à des hauteurs successives, les scories qui se séparaient de la fonte.

Tous les autres fourneaux, ou du moins le plus grand nombre, ont une ouverture dans la partie supérieure du creuset par laquelle les scories s'écoulent continuellement pendant la durée du travail, et l'on ne fait sortir la fonte que lorque le creuset en est rempli et qu'elle n'est plus recouverte que d'une légère couche de laitier.

Ces creusets sont de la troisième espèce : ils ont ordinairement la forme d'un prisme rectangulaire allongé B, dans la direction du travail. Le devant du creuset est fermé par une forte pierre *a*, ou une masse de fonte que l'on nomme *dame* (1); elle est un peu moins élevée que

(1) Du nom allemand *Damm*, digue, chaussée élevée.

l'ouverture, de manière qu'il reste assez d'espace entre le dessus de la *dame* et le dessus de la *tympe b*, pour l'écoulement continuel des scories.

La partie supérieure de la dame doit être un peu moins élevée que l'ouverture de la tuyère, afin que les scories puissent s'écouler avant d'arriver à cette hauteur, et qu'elles ne puissent jamais la boucher.

La longueur de la dame est un peu moindre que celle du creuset; il reste, entre la face du contrevent et la dame, un espace dans lequel on peut percer l'ouverture par laquelle la fonte doit couler.

262. Les dimensions ordinaires de ces creusets sont de 23 à 53 pouces de long, 14 à 24 pouces de large, de 12 à 25 pouces de haut, et leur capacité entre 3,000 et 32,000 pouces cubes. Ces dimensions varient avec la quantité de fonte que l'on veut obtenir, que l'on veut et que l'on peut raffiner à-la-fois dans ces creusets. La largeur du creuset est assez généralement égale à la moitié de sa longueur, et la hauteur, à la moitié de sa largeur; ainsi les proportions sont à-peu-près :: 4 : 2 : 1.

Les creusets ouverts par le devant, et fermés seulement par la dame, ont trois autres côtés; celui du fond *c*, que l'on nomme *rustine*, et les deux autres *costières d, e;* l'une d'elles *d*, dans laquelle est pratiquée l'ouverture par où le vent arrive, se nomme *costière de la tuyère*, et l'autre *e*, *costière du contrevent*.

Dans quelques fourneaux le plan du creuset forme un parallélogramme rectangle B; dans quelques autres C, la rustine est perpendiculaire au milieu du creuset; mais la largeur de ce côté est moins grande que celle de la tympe *a*, et que celle de la dame *b*.

Dans d'autres D, la partie du creuset, comprise entre la rustine et la tympe *de*, est rectangulaire : le reste, depuis la tympe jusqu'à la dame *af*, s'élargit; la face du contrevent *rn* est oblique sur celle de la tuyère *il*, et le creuset en devient plus large.

Quoique la rustine *ik* soit droite dans le plus grand nombre des creusets, on en trouve cependant, comme en Franche-Comté, dont la rustine est concave F.

Quant à l'inclinaison des faces, celles des costières et de la rustine sont

verticales E dans quelques fourneaux; et dans d'autres, elles sont inclinées par dehors G; ce qui élargit la partie supérieure du creuset.

263. Chaque fondeur a une manière particulière de construire son creuset. Les plus intelligents ont une forme de bois, qu'ils posent sur le fond, et à l'aide de laquelle ils élèvent et placent la rustine et les costières; d'autres suivent en apparence des principes dont il leur serait difficile de se rendre raison; quelquefois ce sont ceux que leur ont transmis leur maître, et que la routine a consacrés; d'autres fois, le caprice seul les dirige : ceux-là ont grand soin de faire un mystère, un secret, de la forme du creuset qu'ils ont construit.

Afin de donner aux maîtres de forges des principes positifs, à l'aide desquels ils puissent faire construire leurs creusets, nous allons indiquer ceux qui sont suivis en Suède, et que Garney a décrits, livre 2, chap. 8, §. 1er, de son Traité sur la Fonte des Minérais.

Le plan du creuset est une espèce de trapèze K; les deux costières vont en se rapprochant de la rustine à la dame; la rustine elle-même est un peu inclinée sur le plan *bc*, qui passe par l'axe *a*, du fourneau, et qui le divise en deux parties dans le sens de la longueur. L'angle de la rustine avec ce plan, projeté sur un plan horizontal *adi*, est de 91°5 du côté de la tuyère, et *adk*, de 88° 55 du côté du contrevent.

Lorsque les minérais ont une fusion moyenne, les distances de l'axe, à chaque face sont : à la rustine $ad = 0^m,37$; à la tympe $ae = 0^m,74$, $af = 0^m,99$; ainsi, la longueur du creuset est $df = 1^m\,36$; la largeur, à la rustine $0^m,52$, à la tympe $0^m,45$; l'élévation de la tuyère *gn*, au-dessus du fond, est de $0^m,37$, celle de la dame *rs*, $0^m,30$, et celle de la tympe *tu*, $0^m,42$.

Gerard observe que l'angle que fait la rustine avec la droite *bc*, placée dans le sens de la longueur du fourneau, et qui passe par son axe, dirige le vent vers la partie extérieure du creuset; mais que si l'angle est trop grand, la chaleur devient trop considérable en avant et pas assez en arrière; elle est augmentée, dans cette dernière partie, lorsque l'on place la rustine de manière qu'elle fasse un angle égal sur les deux costières. Cette direction est employée pour les minérais qui donnent un fer bri-

sant à chaud : on recule alors la rustine de quelques pouces, et l'on avance la tympe jusqu'à n'être plus qu'à $0^{m},45$ de l'axe.

La costière de la tuyère, lorsque l'on fond des minérais moyennement fusibles, est placée à une distance, de la ligne du milieu, égale à celle de la costière du contrevent; mais elle est plus éloignée pour les minérais plus fusibles, et elle en est plus rapprochée pour ceux qui sont plus réfractaires, ce qui augmente ou diminue la capacité du creuset.

La face de la rustine est verticale ou inclinée selon la nature des minérais : elle est verticale pour les mines réfractaires, et inclinée au dehors pour les mines douces.

Quant aux costières, voici ce que l'expérience apprit à Garney. On sait que, lorsque le creuset a les mêmes dimensions dans le bas que dans le haut, ou même lorsqu'il est plus étroit en haut, la fonte est plus pure, plus douce; mais que l'on en obtient moins, dans le même temps, que lorsqu'il est évasé : on doit donc partir de ce fait pour déterminer le degré de cet évasement.

Lorsque l'on traite un minérai réfractaire, donnant du fer rouverin, brisant à chaud; comme la fonte doit rester long-temps dans le fourneau pour y être purifiée, il faut, pour diminuer le creuset, disposer la costière de la tuyère L, de manière que son arête supérieure soit plus avancée d'un demi-pouce vers l'axe, que l'arête inférieure, et que l'arête de la costière du contrevent soit plus éloignée d'un pouce de cette verticale; par ce moyen, le creuset n'aura qu'un demi-pouce de plus large dans le haut que dans le bas.

Mais si l'on doit traiter des minérais moins réfractaires, il faut disposer les costières M, de manière que la face de celle de la tuyère soit verticale, et que celle du contrevent présente un talus de 1 à 3 pouces.

Enfin, si les minérais sont très-fusibles, les deux faces des costières N seront inclinées en dehors; celle de la tuyère aura une inclinaison de deux pouces ($0^{m},05$), et celle du contrevent de 3 pouces ($0^{m},74$).

Si l'on excédait ces quantités, on consumerait une trop grande masse de charbon proportionnellement à la fonte que l'on obtiendrait, et celle-ci deviendrait blanche.

On ne peut mieux terminer ce qui a été dit dans ce chapitre, sur la forme et la proportion des hauts fourneaux, ainsi que sur les dimensions de chacune de leurs parties, qu'en faisant connaître les dimensions des différentes parties des creusets que doivent avoir les hauts fourneaux, relativement à l'espèce de minérai que l'on y traite, et à la destination de la fonte que l'on obtient, tels que Garney l'indique dans son ouvrage.

TABLEAU des Dimensions de différents Creusets des hauts fourneaux.

NATURE DES MINÉRAIS.	DISTANCE DE L'AXE DU CREUSET P				LARGEUR DU CREUSET P		HAUTEUR DE LA TUYÈRE	INCLINAISON DE LA TUYÈRE
	A LA RUSTINE *ad.*	A LA TUYÈRE *aq.*	A LA TYMPE *ae.*	A LA DAME *af.*	A LA RUSTINE *ik.*	A LA TYMPE *lm.*	*gn.*	*p. no.*
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	deg.
Minérai oxidulé fosible seul	0,391.	0,252.	0,743.	0,995.	0,520.	0,470.	0,371.	1.
Idem réfractaire seul	0,297.	0,223.	0,619.	0,847.	0,470.	0,446.	0,396.	1.
Idem cassant à chaud seul	0,297.	0,223.	0,520.	0,822.	0,495.	0,462.	0,347.	1,5.
Minérais limooeux des lacs	0,347.	0,240.	0,545.	0,995.	0,462.	0,432.	0,347.	1.
Idem réfractaire $\frac{1}{3}$ cassant	0,347.	0,223.	0,619.	0,921.	0,495.	0,462.	0,396.	1,75.
Minérai fosible seul	0,257.	0,248.	0,446.	0,970.	0,446.	0,421.	0,396.	1,5.
Minérai assez réfract. un peu cassant	0,297.	0,240.	0,594.	0,822.	0,495.	0,462.	0,396.	1,5.
Minérai de Taberg, réfractaire	0,247.	0,198.	0,470.	0,876.	0,446.	0,432.	0,347.	1.
Fourneaux à fondre des canons de 8	0,347.	0,272.	0,600.	0,871.	0,545.	0,507.	0,446.	2.
Idem de 12	0,371.	0,272.	0,644.	0,921.	0,545.	0,507.	0,495.	2,25.
Idem de 18	0,316.	0,297.	0,693.	1,094.	0,594.	0,556.	0,531.	2,6.
Idem de 24	0,446.	0,322.	0,693.	1,342.	0,644.	0,556.	0,582.	3,75.
Minérai pauvre réfract. cassant seul	0,223.	0,223.	0,446.	0,896.	0,446.	0,396.	0,371.	2.
Minérai avec $\frac{1}{3}$ oxidule fusible, Ou Minérai fusible cassant à chaod $\frac{1}{2}$ castine	0,322.	0,223.	0,619.	0,792.	0,472.	0,421.	0,371.	1,25.

OBSERVATIONS.

264. Après avoir comparé les hauteurs et les largeurs des fourneaux, la forme et la proportion de l'ouvrage, avec la quantité de charbon

brûlé, on est arrivé à un résultat qui satisfera peu les métallurgistes qui sont persuadés qu'il doit y avoir une proportion et une forme de fourneaux propres à donner la plus grande économie dans le combustible, et à produire la fonte de la meilleure qualité. Cette différence paraît tenir à ce que deux causes concourent à la production de la fonte. Les dimensions du fourneau, et le mode de travail qu'on leur a appliqué, et que, dans toute cette section on n'a comparé à la proportion de charbon brûlé, pour obtenir de la fonte, que les dimensions des fourneaux employés, parce que ce sont les seules données que l'on se soit appliqué à recueillir exactement jusqu'à ce jour.

On verra, dans la suite des articles qui composent ce chapitre, combien la nature et la manière d'être des combustibles, l'espèce et la nature des machines soufflantes, la qualité et la quantité d'air lancé, la nature et la proportion des fondants, enfin la conduite et la direction du travail, ont d'influence sur la nature de la fonte obtenue et sur la dépense qu'elle occasionne; et combien il est facile que, dans un même fourneau, deux fondeurs obtiennent des produits très-différents, en traitant le même minérai avec le même combustible. Deux métallurgistes français en avaient déja fait la remarque en décrivant le travail de la fonte des *floss* exécutée en Styrie (1).

La conclusion la plus naturelle et la plus juste que l'on puisse tirer de cette section, c'est que, quoique la grandeur et la proportion des fourneaux doivent avoir de l'influence sur la nature de leurs produits et sur la dépense qu'ils occasionnent : il y a cependant des petites différences dans leurs dimensions qui ne doivent pas être considérées comme pouvant occasionner de grandes variations; il y a aussi des bonnes proportions qui sont contenues dans une latitude assez étendue, pour que l'on puisse choisir entre un très-grand nombre, sans craindre de s'écarter beaucoup de l'économie qu'on se propose, pourvu que l'on s'étudie à bien connaître son fourneau, et à déterminer le mode du travail qui

(1) Jars et Duhamel, Voyage métallurgique, tome 1er, page 87.

lui est le plus favorable, relativement à sa forme, à ses proportions, à la nature du minérai et à celle du combustible.

Quoique le mode de travail soit une des causes qui influent le plus sur la nature de la fonte et sur l'économie dans la dépense, on ne doit jamais négliger de faire des expériences sur la forme et les proportions des fourneaux, les plus avantageuses, relativement aux minérais que l'on traite et aux combustibles que l'on emploie. C'est avec de la persévérance que les Anglais sont parvenus à trouver qu'il faut de grands fourneaux pour fondre les minérais de fer avec du charbon de houille, qui est moins facile à brûler que le charbon de bois, et que les Suédois sont arrivés à cette forme particulière de fourneau, qui paraît être assez bien proportionnée aux minérais qu'ils possèdent.

DE LA CONSTRUCTION DES HAUTS FOURNEAUX.

265. Le premier objet dont on s'occupe, lorsque l'on veut construire un haut fourneau, c'est de choisir l'emplacement qui lui convient. Cet emplacement doit être à la proximité d'un courant ou d'une chûte d'eau, d'un lac, d'un étang, ou d'un réservoir assez considérable pour faire mouvoir les machines soufflantes.

Dans les lieux où l'eau manque, et où l'on peut se procurer du combustible en abondance, on fait mouvoir les soufflets par des machines à vapeur. C'est ainsi qu'on le pratique dans plusieurs usines d'Angleterre, en France, au Creusot, département de Saône-et-Loire, et dans quelques usines d'Allemagne. Il est bon, dans ces circonstances, que l'usine soit à la proximité du combustible nécessaire pour vaporiser l'eau qui fait mouvoir ces sortes de machines.

Indépendamment de la proximité du moteur qui doit mettre en mouvement les machines soufflantes, il faut encore (lorsque l'on peut choisir entre plusieurs emplacements), préférer celui qui est à la portée des combustibles que l'on emploie, des minérais que l'on fond, et du lieu où les produits doivent être transportés, afin qu'ils le soient avec le

moins de frais possible, soit par des chemins, des rivières, des canaux de navigation, ou par tout autre moyen (1).

266. Il est avantageux que le terrain sur lequel le fourneau doit être construit ait un bon fond, un fond solide, qu'il soit situé à quelque distance des autres édifices; enfin, que sa masse soit parfaitement isolée : il est nécessaire aussi qu'elle ne touche, par ses faces latérales, à aucune partie de terre ou de roches à travers lesquelles il pourrait suinter de l'humidité, qui, en pénétrant la maçonnerie, occasionnerait des dérangements dans le travail.

De toutes les causes de dommage, l'eau et l'humidité sont celles dont il faut principalement préserver le fourneau; elles peuvent y causer deux sortes de dérangements également nuisibles.

D'abord, l'humidité diminue une portion de la chaleur produite par la combustion, elle force à consumer plus de charbon pour faire par-

---

(1) Les hauts fourneanx doivent toujours être placés à la proximité du combustible, du minérai et des fondants. On doit encore avoir des moyens faciles de transporter les fontes qu'ils produisent dana les lieux où elles doivent être employées, et cela, afin d'économiser sur les frais qu'occasionnent les transports multipliés de ces substances. Dans le cas où l'on trouverait difficilement un emplacement à la proximité des cours d'eau, ou d'une mine de houille qui puisse remplir ces conditions, on pourrait remplacer ces deux moteurs par des animaux. Les machines soufflantea peuvent être facilement mues par des chevaux ou des bœufs. Dix à douze chevaux suffisent pour faire mouvoir les soufflets d'un haut fourneau, produisant de quarante à cinquante quintaux de fonte par vingt-quatre heures. Tout se réduirait donc à comparer la dépense annuelle des transports qu'occasionnerait la position de l'établissement sur un courant d'eau, ou près d'une mine de houille, à celle qui aurait lieu dans un emplacement qui serait plus à la proximité des objets de consommation, en y ajoutant, dans ce dernier cas, les dépenses occasionnées par dix à douze chevaux qui feraient mouvoir les soufflets.

Tout fait croire que les premières machines soufflantes, employées pour activer les combustibles des usines à fer, étaient mues par des hommes ou par des animaux, car on trouve, dans tous les pays où il existe des mines de fer, des masses considérables de scories, dans des emplacements éloignés de toute espèce de cours d'eau; et l'on voit, dans l'ouvrage d'Agricola, les dessins d'un grand nombre de machinea soufflantes mues par des hommes et par des animaux.

venir l'intérieur du fourneau à la température qui lui est nécessaire; enfin, elle peut faire coaguler, solidifier une partie des matières fondues, ce qui occasionne des engorgements, et oblige à *mettre hors*, c'est-à-dire, à arrêter le travail pour extraire les matières solides qui se sont déposées, et pour réparer le fourneau.

Un second inconvénient que peut produire l'humidité, et dont on n'a souvent que trop d'exemples, c'est que l'eau, infiltrée à travers le massif, peut y éprouver subitement une haute température qui la réduit en vapeurs : ces vapeurs, condensées dans les espaces qui les renferment, exercent un effort considérable contre leurs parois, contre les matériaux qui les entourent, et produisent des crevasses plus ou moins grandes à travers lesquelles elles s'échappent : ces efforts réitérés et multipliés contribuent aussi à la prompte destruction du fourneau.

On pourrait observer qu'il existe des fourneaux, (ceux d'Italie, par exemple, ainsi que ceux du Piémont, du département de l'Isère et du Mont-Blanc), qui sont adossés contre des massifs de terre ou de rochers, afin de faciliter le transport du combustible et des minérais sur la plate-forme, et que, malgré la vaporisation de l'eau qui s'y infiltre continuellement, ces fourneaux n'en existent pas moins depuis très-longtemps, et paraissent assez bien résister à l'effort continuel de la vapeur, pour que les propriétaires ne songent pas à s'occuper d'en arrêter les effets.

Ce n'est pas seulement la facile communication avec les minérais, les fondants et le combustible, qui a déterminé l'adossement de ces fourneaux aux terrains, c'est encore l'espèce de machine soufflante, les *trompes*, dont on fait usage. Ces sortes de machines, à air et à eau, exigent l'emploi d'une chûte d'eau assez considérable pour produire la quantité d'air dont on a besoin; or, comme le fourneau doit être à la proximité d'un courant d'eau très-élevé, afin que la chûte ait la hauteur que ces sortes de machines exigent, et qu'il faut encore que l'eau tombe dans des tuyaux verticaux placés près du fourneau, on a trouvé plus simple et plus commode d'adosser le fourneau au terrain sur la pente duquel le courant existe; mais aussi pour détruire une partie des inconvénients produits

30.

par la filtration de l'humidité, par le refroidissement qu'elle occasionne dans l'intérieur du fourneau, on a été obligé de donner au vide de la cuve une forme particulière, qui n'existe que dans ces sortes de fourneaux.

Le vide intérieur est bien formé, comme dans les bons fourneaux, de deux pyramides A, (planche 15) opposées base à base, mais, au lieu d'être droites et d'avoir comme toutes les autres, leur axe perpendiculaire sur le milieu de leurs bases communes et réciproques, ces pyramides sont obliques B, et les droites qui passent par leur sommet et par le milieu de la base commune de deux pyramides, sont inclinées l'une sur l'autre.

Par cette disposition particulière C, la face intérieure du dedans du fourneau est verticale, tandis que les parties hautes et basses du côté de la rustine sont très-inclinées, et que celles des faces latérales ont une inclinaison moyenne : or, le combustible qui tombe par le gueulard, et qui se répand uniformément dans la cuve, doit, d'après la loi de la distribution de la température dans chaque tranche, qui tend à diriger le maximum de chaleur au centre de chacune d'elles, avoir la ligne de plus haute température oblique et anguleuse; cette ligne doit se diriger vers le massif contre lequel le fourneau est adossé; mais en même temps que la ligne de plus haute température se porte vers le massif, le refroidissement occasionné par la filtration de l'humidité, et qui doit tendre à diminuer la chaleur des parois vers ce côté, cette humidité, disons-nous, fait refluer la ligne de plus haute température vers le devant du fourneau : il résulte de cette double action, que la ligne de plus haute température se redresse et devient sensiblement verticale. Lorsque l'on charge le fourneau, on a l'attention particulière de porter le minérai sur le devant; ce minérai, plus pesant que le charbon, a une tendance à tomber verticalement; d'où il résulte qu'il se trouve dans la ligne de plus haute température, qu'il est exposé à la plus grande chaleur, et que, relativement à leur position, la forme que l'on est parvenu à donner à ces fourneaux est celle qui convient le mieux à leur travail.

La forme particulière que l'on a donnée aux fourneaux d'Italie, du

Piémont, etc., qui sont adossés contre le terrain, présente une solution élégante d'un problème extrêmement difficile : *Déterminer la meilleure forme à donner à des fourneaux adossés contre un mur.* Elle se déduit directement de la théorie de la propagation de la chaleur que nous avons développée précédemment; mais cette forme, à laquelle la théorie paraît conduire, n'a été obtenue que par l'expérience; on ignore même si elle résulte d'une suite de tâtonnements, ou si un heureux hasard l'a procurée. Quoiqu'il en soit, lorsque l'on compare la dépense du combustible dans ces fourneaux, avec la quantité de fonte que l'on obtient, on remarque généralement que cette dépense est plus considérable, dans ces sortes de fourneaux, que dans les fourneaux isolés et de même dimension, et cela, lorsque l'on emploie des minérais semblables de part et d'autre.

La moyenne de la consommation du charbon, pour fondre le minérai de fer spathique, est de 125 à 130 parties pour 100 de fonte obtenue; et, dans tous les pays où l'on traite ce minérai dans les fourneaux adossés, la moyenne de la consommation du charbon est de 270 pour la même quantité de fonte; ainsi elle est près du double. Cette grande difrence dans la dépense du combustible, qui est occasionnée à-la-fois par l'adossement du fourneau contre le terrain, et par l'usage des *trompes* qui occasionnent cet adossement, devrait engager quelques propriétaires mieux instruits à isoler leur fourneau, à remplacer *les trompes* par d'autres machines soufflantes, et à donner à la cuve une forme plus convenable à l'isolement dans lequel ils placeraient leur fourneau. L'avantage qu'ils obtiendraient de ces changements déterminerait ensuite d'autres maîtres de forges à suivre leur exemple; et bientôt ces fourneaux défectueux, employés depuis si long-temps en Italie, dans le Piément et dans les départements du Mont-Blanc, de l'Isère, etc., ne seraient plus connus que dans l'histoire de l'art.

267. Lorsque l'emplacement du fourneau a été choisi dans un terrain libre, droit, horizontal, solide et sec, près d'un cours d'eau assez considérable, ou à la proximité des forces motrices, des combustibles, des minéraux, des fondants qui doivent être employés, enfin dans un en-

droit d'où le transport de la fonte, au lieu de consommation, puisse se faire facilement, on creuse les fondations du massif de la tour que l'on doit élever.

Le terrain sur lequel le fourneau doit être bâti peut être, 1° un roc dur; 2° une terre argileuse solide; 3° un terrain meuble et humide le printemps et l'automne, et sec l'été; 4° enfin un terrain humide et marécageux. Lorsque l'on peut choisir entre ces quatre terrains, il faut préférer le premier, comme le plus ferme, le plus solide et le plus sec.

Si le terrain est un roc dur, solide, il faut le dresser et le creuser de quelques pieds, pour pouvoir établir dans les fondations des canaux pour la circulation de l'air, de l'humidité, et même de l'eau. Lorsque le roc est dur et inégal, et qu'il occasionne trop de dépenses pour le dresser entièrement, on se contente de le dresser en échelon D. Il faut éviter d'incliner le sol lorsque le roc semble y inviter par sa situation, parce que, malgré les morceaux de fer, les chevillettes, les crampons que l'on place ordinairement dans les rocs inclinés, le massif du fourneau peut, quelquefois, par ses efforts réitérés, vaincre les obstacles qu'on lui oppose, glisser et se déplacer. C'est sur ce roc dressé que l'on pose les pierres et que l'on élève le massif.

Si le terrain est argileux et solide, il faut creuser assez profondément pour que le sol soit ferme et résistant.

Lorsque le terrain est meuble, peu solide ou mou, on creuse d'abord à deux ou trois mètres de profondeur, pour s'assurer de l'égalité du terrain, puis on construit, en bois, un châssis E, formé de deux rangées de grandes poutres placées perpendiculairement l'une à l'autre, et entaillées l'une sur l'autre : les dimensions de ce châssis doivent être telles qu'il déborde de deux pieds, au moins, de chaque côté, le massif de maçonnerie; ainsi, si les murs doivent avoir 24 pieds de côté, le châssis doit en avoir 28.

Ce grillage descendu dans la fondation, est ensuite placé solidement sur le fond du terrain, puis dressé bien horizontalement afin qu'il conserve cette situation. Il est bon, lorsque le terrain le permet, que le châssis soit couvert d'eau; car, lorsqu'il est exposé à l'action successive de la

sécheresse et de l'humidité, il se pourrit promptement; il se conserve, au contraire, s'il est entièrement immergé; souvent même il se durcit dans l'eau.

Dans les terrains qui varient de dureté le printemps, l'été ou l'automne, il faut placer le grillage, dans le printemps, après les pluies, ou dans l'automne, avant la saison pluvieuse. Il faut que le châssis soit découvert et exposé à l'action des eaux, afin qu'il prenne une position fixe, et ne bâtir dessus que lorsque le terrain est desséché.

Le grillage placé, on remplit avec des pierres sèches, ou avec des pierres et du mortier, les espaces que l'assemblage et les intervalles laissent libres et vides. L'on égalise et l'on dresse ainsi la surface du châssis.

Si le terrain n'a qu'une mollesse moyenne, si au-dessous du châssis il présente encore assez de résistance pour porter solidement le massif, on construit aussitôt sur cet assemblage; mais si le terrain est trop mou, et qu'il fasse craindre que le grillage chargé ne fléchisse, on place un second châssis sur le premier, et on remplit également de maçonnerie le vide que laissent les assemblages.

Enfin, lorsque le terrain est marécageux, ou qu'il est trop humide, on y enfonce quelques pilotis : leur nombre et leur position dépendent de la mollesse du terrain. Quoique les pilotis soient nécessaires dans les lieux humides et marécageux, il faut éviter ces sortes de constructions qui ne sont jamais très-solides, et on les évite en choisissant un autre terrain plus convenable à la solidité du massif.

268. La base de la fondation ne peut être faite avec trop de soin. La charge qu'elle doit porter est considérable; on l'évalue à près de 2 millions de livres pour les fourneaux de 24 pieds de haut, et de 8 à 9 pour ceux de 60. Ce poids est inégalement réparti sur la base. Dans les fourneaux à une seule tuyère, le fardeau porté par l'angle de l'embrasure, au-dessous du piller du cœur est, pour les fourneaux de 24 pieds de haut, de $\frac{1}{7}$ de moins environ que celui qui est supporté par les autres angles. Cette inégalité exerce sur le châssis une action qui pourrait le faire enfoncer, si le terrain n'opposait pas, du côté le plus pesant, une résistance assez considérable.

Les pierres de fondation doivent être grosses et fortes; elles doivent avoir leurs faces dressées, et chaque assise doit être formée de pierres d'égale hauteur. Il est nécessaire que ces pierres soient posées avec assez de solidité pour pouvoir résister, sans mortier, à la charge qu'elles supportent.

On peut employer, pour les fondations, des pierres calcaires, des gneiss, des serpentines, des cornéennes, des porphyres, des granits. Quoique ces pierres soient généralement regardées comme très-dures, il existe cependant de grandes variations entre elles : il est des porphyres, des granits d'une dureté excessive, et qui résistent à l'action des outils les mieux acérés; mais aussi on en trouve de mous, de pulvérulents, dans un état de décomposition plus ou moins avancée. Cette grande différence de dureté entre des pierres de même espèce, doit déterminer les constructeurs à mettre beaucoup de soin dans le choix des matériaux dont ils font usage.

Dans plusieurs pays, on lie les pierres des fondations avec du mortier. Ce lien peut être utile, il est même nécessaire, lorsque les pierres que l'on emploie ne sont ni assez fortes, ni assez droites, ni assez grosses; mais lorsque l'on a des pierres de choix, le mortier devient inutile; et lorsque les fondations sont humides, les eaux s'écoulent moins facilement à travers la masse.

269. On pratique sous tous les fourneaux, dans le massif des fondations, des canaux pour réunir les eaux et leur donner un écoulement, afin de les empêcher de s'infiltrer et de monter jusqu'au sol, jusqu'aux parois, et de nuire au travail.

Dans quelques fourneaux, il n'y a qu'un seul canal de 6 pieds de large F, I, qui traverse le massif, et qui est placé dans la direction de la tuyère; dans d'autres, le canal G n'est prolongé que jusque sous l'embrasure des soufflets, et son ouverture est du côté du contrevent.

Dans plusieurs fourneaux les canaux se croisent à angle droit K, L; souvent ces canaux ont leurs quatre ouvertures libres sur les quatre faces; quelquefois ces deux canaux croisés n'ont que deux ouvertures K, l'une sous le contrevent, l'autre sous la rustine

Il faut, autant qu'il est possible, que l'ouverture du canal soit sur une des faces adjacentes à celle que baigne le courant qui fait mouvoir les machines soufflantes, afin que l'eau qui coule le long de cette face ne reflue pas dans le canal. Ce liquide ne doit y arriver que lorsqu'il peut être nécessaire pour établir un courant particulier. La voûte ne s'élève ordinairement qu'à 2 ou 3 pieds au-dessous du fond de la cuve du fourneau, parce qu'il faut conserver assez d'épaisseur au-dessus du canal pour placer la pierre de sol et la maçonnerie de cette voûte.

Lorsque les fondations sont peu profondes, la voûte du canal commence à leur naissance, à la surface du fond, du rocher ou du grillage posé sur le terrain; lorsqu'elles sont profondes, elle est posée sur quelques assises de pierre. La hauteur du canal varie entre 1 et 6 pieds.

En Suède, dans les fondations sèches, on pratique deux canaux H, L, qui se croisent dans l'axe du fourneau; les vapeurs et l'humidité s'y rassemblent et s'y accumulent; elles s'échappent à l'extérieur par des tuyaux inclinés *a*, *b*, qui s'élèvent dans la maçonnerie, et qui ont leur embouchure dans les murs des faces et dans les deux embrasures.

Comme le but que l'on se propose, en construisant ces canaux, est de réunir toutes les filtrations, les vapeurs et l'humidité, afin de faciliter leur sortie, on y établit souvent un courant d'eau, soit en réunissant toutes celles qui pénètrent dans le massif, lorsque le fourneau est bâti sur un emplacement humide ou marécageux, soit en faisant arriver directement de l'eau de l'extérieur dans le canal.

Si l'on peut établir un courant d'eau dans un des canaux du massif; comme la température de ce fluide est toujours moindre que celle de la maçonnerie à travers laquelle la chaleur, développée dans l'intérieur, se propage, la vapeur et l'humidité se portent sur la surface de l'eau courante, s'y condensent, et sont entraînées avec elle.

Les fondations s'élèvent ainsi, en bonne maçonnerie, jusqu'à la hauteur du sol. Dans les fourneaux suédois, on conserve, dans le milieu du massif M, un vide cylindrique de 24 à 30 pouces de diamètre pour sécher le dessous de la pierre de sol. Ce vide se remplit de pierres dures

sur lesquelles on établit les petits canaux, à l'aide desquels la vapeur et l'humidité doivent s'exhaler.

270. Aussitôt que les fondations sont élevées, que la surface supérieure est dressée, on fixe le milieu du plan horizontal, ou le point sur lequel doit s'élever verticalement l'axe du fourneau, et l'on trace les embrasures.

L'ouverture des embrasures doit avoir entre 8 et 15 pieds, et cela, selon la largeur de la masse. Nous avons déja dit que, dans les fourneaux de 20 à 24 pieds de large, l'ouverture de l'embrasure est égale à la moitié de la face. La largeur de l'ouverture une fois tracée, on dirige, des points de division *b*, *d*, (fig. N) des lignes au centre *a* du fourneau; mais lorsque, par ce procédé, la largeur du vide du fond de l'embrasure n'est pas assez grande, on trace, du centre *a* du fourneau O, un petit cercle de 12 à 20 pouces de rayon, et les faces des embrasures *bc*, *dc*, sont menées tangentiellement à ce cercle. Il arrive souvent que, par cette opération, *le pilier de cœur* (celui qui sépare les deux embrasures) est trop mince, trop faible vers le centre; dans ce cas, on augmente sa largeur en menant des $\frac{2}{3}$ ou de la moitié de la largeur des faces de ces embrasures *f*, *g*, du côté du pilier de cœur, deux droites *af*, *ag*, vers le centre du fourneau; ce qui augmente un peu l'épaisseur de ce pilier dans la partie aiguë, c'est-à-dire, dans la partie qui a le plus besoin de cette augmentation.

Quant à la distance de la face intérieure de l'embrasure, vers le centre du fourneau, elle dépend des dimensions du creuset. Le fond de l'embrasure de devant *h*, répond à l'ouverture, qui est ordinairement à 30 ou 48 pouces de l'axe, et celui de l'embrasure de la tuyère *i*, à 24 ou 36 pouces du centre du creuset.

271. Dans tous les fourneaux bien construits, l'axe, ou la droite menée du centre du gueulard au centre du creuset, est verticale. Dans quelques fourneaux, dont la construction est abandonnée à des fondeurs qui suivent une mauvaise routine, l'axe *ab*, du fourneau P, est inclinée du côté du contrevent. Cette méthode est vicieuse; elle occasionne une plus grande consommation de charbon, et l'on remarque, qu'après

la *mise hors*, après le refroidissement du fourneau, les étalages et l'ouvrage, du côté du contrevent, sont rongés et fondus par l'action des minérais, qui tombent en plus grande quantité sur cette face que sur l'autre (1).

272. La maçonnerie qui compose le massif du fourneau Q, se divisent en deux grandes parties : *enveloppe* et *parois*.

On appelle *parois a*, la maçonnerie de la surface intérieure, celle qui forme la cuve; et *enveloppe b*, la masse de maçonnerie qui forme les murs extérieurs. Il est très-rare que les parois soient immédiatement appuyées ou liées à la maçonnerie de l'enveloppe; elles en sont presque toujours séparées par un petit espace *c*, que l'on remplit de terre, de sable, d'argile, ou d'autres substances. Ce mode de construction isole l'enveloppe des parois; et lorsque, par des accidents, ou par de trop longs fondages, les parois ont éprouvé des dégradations, qu'elles se sont fondues, et qu'il faut les construire de nouveau, ce travail peut être exécuté, sans qu'il occasionne de dérangement sur le massif de l'enveloppe.

On doit donc, d'après ce principe, considérer la construction de l'enveloppe comme indépendante de celle des parois. Cela posé, après avoir tracé le vide intérieur, après avoir déterminé l'épaisseur des parois du ventre, on prend la distance de l'axe à l'extrémité de cette épaisseur, et l'on trace, sur la base du fourneau B, C, (planche 16) un carré ou un cercle *bdef* (selon que la cuve est circulaire ou rectangulaire) : cette trace est celle de l'enveloppe que l'on nomme *double muraillement*. Ce double muraillement A est construit en pierres de fortes dimensions, taillées sur leurs faces et sur leurs joints, pour leur donner plus de force et de solidité. L'espace *a*, entre ce double muraillement, est rempli avec des pierres brutes de toutes formes : on les place avec soin; elles doivent

(1) On voit facilement que l'action du vent et celle des oxidules de fer, doivent concourir à détruire cette face plus promptement que les autres, et que l'on augmente encore les causes de cette destruction en inclinant l'axe du fourneau, et en faisant tomber les minérais sur le contrevent.

être bien réunies et bien liées les unes aux autres par les angles et par les faces, afin de procurer à la masse la plus grande solidité.

Dans quelques fourneaux, toutes les pierres de l'enveloppe sont liées avec un ciment ou avec un mortier; dans d'autres, le double muraillement et les pierres intérieures sont posés les uns sur les autres, et à sec. Cette seconde manière, qui exige un travail plus exact, des pierres mieux taillées, est préférable à la première. En se servant de mortier, on introduit de l'eau entre les joints des pierres, conséquemment dans le massif; lorsque l'enveloppe s'échauffe, et que l'eau se vaporise, elle cherche à sortir : le mortier qui bouche les ouvertures s'opposant à son passage, elle fait effort contre lui, et souvent le ressort de la vapeur écarte, désunit la maçonnerie, et elle occasionne des crevasses plus ou moins considérables. Lorsque l'enveloppe est bâtie en pierres sèches, le peu d'humidité attachée aux pierres du massif trouve, en se vaporisant, une foule d'issues par lesquelles elle peut sortir sans gêne et sans efforts.

273. Les voussoirs formés dans le massif, et qui réunissent l'enveloppe aux parois, rompent la continuité de la prolongation du double mur inférieur. C'est ici que le constructeur doit réunir tous ses soins, afin de lier la construction de l'enveloppe avec les voussoirs, de manière à former un tout solide, capable de résister à toutes les actions et à tous les efforts réunis.

Les voussoirs D, E, F, sont ordinairement formés de gueuses, ou de barres de fer *a*, placées sur les murs élevés dans les embrasures. Sur les gueuses ou barres, on pose des pierres plates qui forment la surface du plancher ou de la partie supérieure de l'embrasure, et qui supportent le massif de maçonnerie élevé au-dessus. Cette partie antérieure et renfoncée des fourneaux, du côté des tympes et de la tuyère, se nomme *marâtre*, ou poitrine du fourneau.

Pour diminuer le poids que supportent les embrasures, on peut construire au-dessus, sur les deux muraillements, une espèce de voûte qui diminue le fardeau supporté par les *marâtres*.

L'épaisseur des barres de fonte doit être de $0^{m},10$ sur $0^{m},15$, et les

barres de fer de 0^m,028 à 0^m,045; elles doivent avoir 0^m,45 de support. Ainsi leur longueur, depuis la face d'entrée jusqu'au fond, doit varier entre 3, 5 et 6 mètres. Les pierres plates doivent avoir environ 15 à 25 centimètres d'épaisseur.

On est dans l'habitude de couvrir les *marâtres* de mortier, afin de leur donner plus de solidité, et d'empêcher qu'il ne passe des terres et des sables par les joints. Ce mortier ne nuit point à la sortie de la vapeur, qui a assez d'issue, dans le double muraillement, pour s'échapper avec facilité.

Dans les fourneaux où l'on ne coule que de la fonte aigre propre à produire du fer cassant à froid, et qui ne peut être employée à former des marâtres, il faut, lorsque l'on n'a pas à sa disposition de pierres plates et d'assez grandes dimensions pour former les voussures, les construire avec de grosses pierres de taille ou des briques. Ces voûtes H sont des demi-cônes tronqués à base circulaire, elliptique ou en ogive. L'enveloppe de la surface conique est d'abord construite en planches G, posées sur des cintres ; et c'est sur cette enveloppe que l'on place les pierres taillées, ou les briques fabriquées exprès pour cette construction.

Lorsque les pierres ou les briques sont posées exactement sur ces cintres, et que l'on a suivi, pour tracer leurs joints, les règles de la coupe des pierres, on coule du mortier entre les espaces qu'elles laissent, afin de lier les pierres ou les briques plus intimement, on laisse sécher le mortier, et l'on décintre l'embrasure.

Avant de mettre en feu, on sèche fortement le mortier pour vaporiser l'eau qu'il retient. Pour cela, on place sous la voûte un échaffaudage que l'on recouvre de terre ou de pierres, et sur lequel on allume du menu charbon, du fraisil.

274. L'enveloppe du fourneau est liée avec des barres de fer pour lui donner plus de solidité. Les assemblages des barres sont placés sur des plans, espacés dans le massif, et retenus à l'extérieur par des barres, ou des ancres de fer.

Le nombre des couches de liens de fer est plus ou moins considérable, selon la grandeur du fourneau, la bonté des matériaux et l'exac-

titude du travail. Ce nombre varie communément de 3 à 8 : il est ordinairement de 7 dans les fourneaux suédois, en comptant la rangée des barres placées dans les fondations.

On fait varier l'arrangement des barres dans chaque assise, relativement à leur position. A la base du fourneau I, la rangée est double : trois barres sont placées au milieu, et quatre ou sept dans le pilier de cœur K. Au-dessus L est une rangée simple, et deux barres transversales au milieu des faces. Les deux barres qui passent par les embrasures sont courbes, lorsque l'assise est trop basse. Enfin, au-dessus des embrasures, l'assise est formée d'une seule rangée de barres M, ou de deux rangées N, posées, l'une dans le sens des faces, l'autre dans la direction de la diagonale.

Les barres qui ne traversent pas le fourneau sont retenues dans la face intérieure du muraillement par des ancres droits ou courbes O, P, Q, R.

275. Quelques fourneaux de Suède sont revêtus de grosses et fortes pierres jusqu'à la hauteur des voussoirs : au-dessus, le fourneau est environné de cadres de bois A, (planche 17) qui entretiennent la solidité, comme nous l'avons déja observé.

Dans ces fourneaux, on ne construit, jusqu'à la plate-forme, que l'un des murs de l'enveloppe, celui de l'intérieur *a*. Pour remplacer la prolongation du mur extérieur, au-dessus des voussoirs, on place des cadres de bois *b*, les uns sur les autres; ces cadres, formés de quatre grandes pièces, sont séparés par des pierres plates qui remplissent les vides que les pièces de bois laissent entre elles; on remplit ensuite l'espace compris entre les pièces et le mur intérieur de l'enveloppe avec de la terre maigre ou du gros sable, que l'on bat fortement, à la manière du *Pisé*.

Ces sortes de fourneaux sont construits partout où les grosses pierres sont difficiles à se procurer, et où le bois peut les remplacer avec économie; mais ils sont sujets au feu, comme les hangards qui environnent les hauts fourneaux, et ils exigent une grande surveillance; de plus, les bois exposés aux actions variables de l'humidité et de la sé-

cheresse se pourrissent promptement, malgré la peinture à l'huile dont on les recouvre, et ils exigent des réparations continuelles.

Dans quelques endroits où l'on veut économiser le fer que l'on met dans les deux muraillements pour lier la maçonnerie, on place sur la surface extérieure B, de forts cadres de bois *b*, qui ceignent le massif à divers endroits, et s'opposent à son écartement.

276. Pour construire les parois, on élève verticalement C, à partir du fond *a*, des murs jusqu'à la hauteur du ventre ou du grand foyer supérieur *b;* puis on élève par-dessus les parois du vide de la cheminée supérieure *bc.* C'est dans le vide compris entre ces murs *a, b,* élevés depuis le sol du fourneau jusqu'au foyer supérieur, que se construisent les creusets, l'ouvrage et les étalages. Les murs des parois inférieures sont élevés verticalement D dans quelques fourneaux : ils sont un peu inclinés E dans d'autres; de manière que l'ouverture supérieure est plus évasée que la base. Les parois de la cheminée supérieure F, ont, dans toute leur hauteur, deux rangées de pierres qui entrent les unes dans les autres; celles qui sont exposées à l'action du feu, et qui présentent une de leurs faces dans le vide *a*, forment ce que l'on appelle les *parois;* la rangée de pierres *b*, et qui est à l'extérieur de ces parois, se nomme *fausse parois.*

La petite masse supérieure, connue sous le nom de *bure*, de *courtine*, qui est exposée à l'action variable du froid et de la chaleur, et qui se trouve continuellement en contact avec la flamme et le fort courant d'air qui sort par cette ouverture, se détruit facilement. Dans la plupart des fonderies, on couvre le gueulard d'une plaque de fonte G, dont le vide (circulaire ou carré) est celui qui a été déterminé pour l'ouverture supérieure. Cette plaque préserve les bords des parois des accidents que les charges successives occasionnent. Dans quelques fourneaux, on place, à l'extérieur des parois de la petite masse supérieure, des barres de fer verticales H, qui sont retenues par des cercles ou des cadres de fer, et dont l'assemblage préserve la *bure* des dégradations auxquelles elle est sujette.

277. Dans le bas du vide K, à un pied au-dessus du sol, on pose une plaque de fonte *a;* sur cette plaque, on met une couche de sable, de

mortier ou de terre *b*, et sur cette couche de terre la pierre de sol *c*. En Suède, la plaque de fonte a $0^m,05$ d'épaisseur, la couche de terre $0^m,05$, et la pierre de sol $0^m,20$.

Dans un grand nombre de fonderies, on se contente de poser une pierre de sol fort épaisse *d*, sans plaque de fonte inférieure. Cette plaque de fonte que l'on place, en Suède, au-dessous de la pierre de sol, est un nouvel obstacle à la pénétration de l'humidité; elle favorise par là le desséchement du creuset.

Le plus souvent la pierre de sol se place horizontalement; il vaut cependant mieux l'incliner vers la *rustine*. Cette inclinaison laisse toujours, après chaque coulée, un peu de fonte dans le creuset; et celle-ci favorise l'achèvement de la fusion du minérai à moitié fondu qui peut y tomber immédiatement après la coulée. Il est bon, il est même nécessaire, que la pierre de sol soit d'une seule pièce dans toute l'étendue du creuset, afin que la fonte, lorsqu'elle est liquide, ne s'infiltre pas par les joints, et ne nuise pas au travail.

343. Sur la pierre de sol on bâtit le creuset L. D'abord, on place la pierre de rustine *a*, puis celles des deux costières *b*, *b*. Ces trois pierres doivent être grandes et fortes; il faut qu'elles aient la longueur et la hauteur des faces du creuset auxquelles elles correspendent, car le creuset doit être formé de ces trois seules pierres posées sur celle de sol; il faut encore qu'elles aient une grande épaisseur, autant pour assurer leur solidité, que pour avoir la certitude qu'elles résisteront long-temps à l'action corrosive de la chaleur, du courant d'air, de la fonte et des scories. C'est sur ces trois pierres que l'on élève l'ouvrage, ou la petite masse inférieure.

344. Cette petite masse M, qui a quatre faces, et qui a intérieurement la forme d'une pyramide tronquée *a*, doit être construite aussi avec de grandes et fortes pierres, taillées avec soin et avec précision. On coule un peu de mortier argileux dans les joints pour remplir la séparation des pierres qui forment l'ouvrage *a*, et le creuset *c*. Ce mortier se vitrifiant à la surface, maintient solidement l'ouvrage, et s'oppose à la filtration de la fonte entre les joints.

Les étalages *b*, formés au-dessus de l'ouvrage *a*, sont construits, dans quelques endroits, avec des pierres bien taillées, dans d'autres, avec des sables très-réfractaires, dont on remplit l'espace vide compris entre l'ouvrage et le ventre, que l'on bat ensuite fortement, et auquel on donne la forme et l'inclinaison que les étalages doivent avoir dans le système de construction que l'on a adopté.

Le massif de l'ouvrage, sur le devant du creuset N, O, est soutenu par une forte pierre *a*, par un ou deux gros morceaux de fonte, ou par des barres de fer. Cette plate-bande de pierre, de fonte ou de fer, qui supporte le côté du devant de la petite masse, se nomme *tympe.*

Lorsque la *tympe* est en pierre, on lui donne de 20 à 30 décimètres d'épaisseur, lorsqu'elle est en fonte, de 5 à 20 centimètres, et lorsqu'elle est en fer, de 50 à 75 millimètres.

Quelquefois la tympe est posée sur les deux costières M, N, lorsque celles-ci sont assez hautes; souvent aussi on la pose sur deux morceaux de pierre ou de fer *c*, *d*, fig. O, dont la face est un peu inclinée au-dessus des costières, pour donner plus d'évasement à l'ouverture.

278. Quelle que soit la manière dont la *tuyère* (1) est posée, il faut toujours que l'on puisse la replacer facilement lorsqu'elle se casse pendant le travail; il faut donc qu'elle soit posée d'une manière telle, qu'elle puisse être ôtée et remise commodément.

Dans quelques fourneaux, le creuset, l'ouvrage et les étalages sont en sable réfractaire P : on a pour cette construction un moule, un patron, qui réunissent les formes intérieures des deux premières parties *c, a;* on le pose avec soin et avec précaution sur le sol, et l'on bat, à la manière du *pisé*, le sable ou la terre réfractaire que l'on place entre ce moule et les murs qui soutiennent les parois, puis on forme les étalages. Cette manière de construire le foyer inférieur est simple, facile, commode

(1) On sait que l'on appelle *tuyère*, l'ouverture dans laquelle on pose la *buse* des machines soufflantes, et par laquelle l'air est lancé dans le fourneau.

et exacte; elle peut être employée avec beaucoup d'avantages lorsque l'on a à sa disposition des terres ou des sables réfractaires (1).

Quoique, dans un très-grand nombre de hauts fourneaux, on forme dans la partie inférieure, avec la prolongation des parois, un vide dans lequel on construit séparément le creuset, l'ouvrage et les étalages, ce principe n'est cependant pas généralement suivi. Dans quelques fourneaux, l'on construit et l'on élève de suite ces trois parties inférieures, avec la cheminée supérieure Q, de manière qu'elles en sont le prolongement. Ce mode de construction a aussi ses avantages : il peut être employé lorsque les parois sont construites en pierres calcaires qui ne peuvent durer qu'un fondage, et qui obligent à reconstruire chaque fois que l'on éteint et que l'on *met hors;* il a cependant le grand défaut de ne pas séparer assez les quatre parties du fourneau, et d'exiger,

---

(1) Quelques *ferronniers*, disent Tolle et Gartners, dans leur *Eisen-hütten-Magasin*, §. 78, observant que les ouvrages des hauts fourneaux se détériorent très-promptement, et que l'altération qu'ils éprouvent diminue les produits que l'on doit en obtenir, et que l'on pourrait prolonger beaucoup plus long-temps les fondages si l'on parvenait à empêcher cette altération. Quelques ferronniers, disent-ils, ont proposé de construire les ouvrages en fer; mais ils observent ensuite, avec raison, que, quelle que soit la nature du fer que l'on emploie, les ouvrages s'altéreront également à la haute température à laquelle ils sont exposés. En effet, le fer cru qui entre en fusion à une température de 130 degrés du pyromètre de Wedgewood, se liquéfie très-facilement dans les fourneaux d'affinerie dont la température est beaucoup moins élevée que celle qui a lieu dans les ouvrages des hauts fourneaux ; et comme le fer forgé peut être fondu à 156 degrés du même pyromètre, tout fait croire qu'il se fondrait également dans l'endroit où l'on se propose de le placer. Enfin, comme les parois des ouvrages sont constamment exposés à l'action de l'air des machines soufflantes, le fer s'y oxiderait promptement, et il acquerrait, par cette oxidation, une fusion plus facile. Au reste, tous ceux qui ont l'habitude de traiter les minéraux au feu de fusion et même au chalumeau, savent qu'il existe un grand nombre de pierres, de composition terreuse, dont le degré de fusibilité est infiniment plus élevé que celui du fer; il en est même qui sont tellement réfractaires, qu'elles n'ont pas encore pu être fondues à la température la plus élevée que l'on ait pu produire. Si donc les ouvrages des hauts fourneaux étaient construits avec ces sortes de pierres, ou avec ces combinaisons terreuses, ils seraient beaucoup moins altérables que lorsqu'ils sont en fer.

lorsqu'il faut raccommoder une des parties, et rétablir une dégradation partielle, de faire démolir une portion considérable de parois saines et intactes. Comme chaque partie éprouve des dégradations différentes, que la cheminée supérieure, lorsqu'elle est bien construite, peut soutenir plusieurs fondages sans réparations, que les étalages doivent presque toujours être refaits après chaque fonte, que l'ouvrage supporte quelquefois un fondage sans avoir besoin de réparations, il est bon, il est utile même, que la construction de chacune de ces parties soit distincte et séparée.

279. Lorsque les fourneaux sont circulaires, on peut, à l'aide d'un calibre R, fixé sur un arbre vertical, construire le mur au-dessus du ventre, dans le vide duquel seront placés le creuset, l'ouvrage et les étalages; puis construire, au-dessus, les parois de la cheminée. Si l'on voulait construire l'intérieur entier d'une seule opération, c'est-à-dire, le creuset, l'ouvrage, les étalages et la cheminée supérieure, on fixerait le pied du calibre S à l'ouverture de la pyramide tronquée qui forme l'ouvrage, et l'on continuerait, à l'aide du calibre, la construction des étalages et des parois.

Dans le cas où la forme de la cuve serait celle de deux pyramides rectangulaires tronquées, opposées base à base T, il faudrait tendre, des angles de l'ouvrage, des cordeaux à ceux de la partie supérieure des étalages *b, d, f, h,* fig. T, et, de ceux-ci, des cordeaux *ab*, *cd*, *ef*, *gh*, aux angles *a*, *c*, *e*, *g*, de la partie inférieure de la petite masse du gueulard; et l'on pourrait, en suivant exactement les plans indiqués par les cordeaux, obtenir la forme de la cuve que l'on avait déterminée; on pourrait encore élever sur les étalages *i, k, l, m,* fig. U, quatre plans *niko, oklp, plmq, mqni,* formés de planches assemblées, et dont la réunion représenterait exactement le vide de la cheminée supérieure, puis bâtir les parois sur cette forme exacte.

Or, en comparant les moyens qu'il faut employer pour obtenir ces deux vides différents, l'un circulaire, l'autre rectangulaire, il n'est aucun ouvrier un peu intelligent qui ne préfère la construction à l'aide du calibre, et qui ne soit sûr d'obtenir une forme plus exacte et plus

rigoureuse, par les calibres que par les cordeaux : la construction à l'aide des calibres, qui ont un mouvement de rotation sur un axe, est aussi exacte que celle où l'on se sert de planches pour former le moule du vide. On doit donc conclure de là, que la plus grande difficulté de construire des cuves circulaires, au lieu de cuves carrées, que cette plus grande difficulté, avancée par quelques constructeurs, pour faire préférer le vide rectangulaire, n'existe, dans leur esprit, que faute d'avoir connu les moyens à l'aide desquels on construit journellement les fourneaux à cuve circulaire. Espérons donc enfin que cette mauvaise raison, la seule qui ait été donnée jusqu'à présent, n'empêchera pas que l'on abandonne partout la forme carrée des cuves, et que l'on adopte et leur préfère les cuves circulaires qui réunissent tant d'avantages.

Nous devons avouer cependant que, lorsque l'on emploie des pierres pour la construction des parois des fourneaux, comme ces pierres doivent être taillées pour être posées exactement, et empêcher qu'il n'existe aucun vide entre elles, que la taille des pierres, pour la cuve circulaire, présente un peu plus de travail que celle qu'exige la cuve carrée; mais il n'est pas à présumer que cette petite différence puisse influer sur le choix, sur la préférence que doivent avoir les cuves circulaires, et qu'elle puisse compenser les avantages qu'elles présentent.

280. Dans quelques fourneaux où le double muraillement est bâti avec du mortier, et où l'enveloppe se fend, se crevasse par l'action et l'élasticité de la vapeur humide, on a essayé de remédier aux vides des joints en établissant dans le massif, des canaux *a*, *u*, fig. V; mais ces canaux, qui ne permettent que l'évacuation de la vapeur qui les entoure, n'empêchent pas que l'humidité contenue entre chaque massif environné de canaux, ne fasse, en s'échauffant, des efforts sur la maçonnerie, et n'occasionne également des fentes; aussi a-t-on abandondonné, en Suède, ce genre de construction, et l'a-t-on regardé comme inutile.

281. Les pierres employées au massif du fourneau, au double muraillement de l'enveloppe, doivent être grandes, fortes et résistantes; elles doivent aussi supporter facilement, et sans se dégrader, l'intempérie des

saisons et les variations de l'atmosphère. Toutes les pierres qui jouissent de ces qualités peuvent servir avantageusement à cette construction, mais celles de l'intérieur du fourneau doivent avoir une qualité de plus, il faut qu'elles soient réfractaires. Il est nécessaire qu'elles puissent supporter les plus fortes chaleurs sans se fondre, et qu'elles puissent subir les variations alternatives du froid et du chaud sans se rompre, sans se fendre et sans se gercer. Parmi les pierres qui existent et que l'on exploite à la surface du sol, on distingue principalement le granit, le porphyre, le gneiss, la pierre ollaire, la serpentine, la cornéenne, le schiste micacé, le grès et la pierre calcaire. Les huit premières ont chacune des qualités très-variables occasionnées par la nature de leurs composants et par leurs propriétés. Il est des granits, des porphyres qui se décomposent à l'air, et qui acquièrent une telle fragilité, qu'ils s'affaissent sous les plus faibles compressions. Il est de ces pierres, parmi celles que nous avons citées, qui se fondent assez facilement, tandis que d'autres, d'une même nature, et qui semblent même appartenir à la même variété, résistent au feu le plus fort et le plus violent; il en est qui se fendent, se gercent en s'échauffant, d'autres qui conservent leur texture en passant de la température la plus élevée à la température la plus basse.

Il y a donc beaucoup de choix dans la qualité, dans les propriétés de ces pierres; on ne connaît encore aujourd'hui aucun moyen certain pour les juger à la seule inspection; il faut en appeler à l'expérience.

Les pierres que l'on peut employer doivent donc éprouver trois sortes d'essais : 1° il faut s'assurer si elles sont faciles à travailler, si l'on peut dresser leurs joints et leurs faces : le travail de l'une de ces pierres donne la solution de cette question; 2° si elles sont réfractaires, si elles peuvent résister à une haute température sans se fondre : pour cela on les expose, en petits fragments, à une haute température dans un creuset brasqué; la chaleur qu'on leur fait éprouver doit être celle qui convient dans les essais des minérais de fer, et même plus élevée, si l'on peut l'obtenir; on les essaie seules ou mélangées, et entourées de minérais de fer pulvérisé; 3° si elles se rompent au feu : pour cela, on les expose brusquement à la température d'un feu de forge, on les retire lors-

qu'elles sont rouges, et on les expose à l'air; si elles supportent bien cette épreuve, on la pousse quelquefois jusqu'à éteindre les pierres rouges dans l'eau. De toutes les pierres que l'on peut avoir à sa disposition, il faut préférer, pour construire les parois de la cuve du fourneau, celles qui se taillent facilement, qui sont réfractaires, et qui ne se fendent ni ne se gercent en passant d'une température à une autre. Il est inutile d'observer que l'on doit apporter le plus grand soin au choix des matériaux avec lesquels on construit les parois des fourneaux : leur bonté influe singulièrement, et sur le succès, et sur la durée du fondage.

On met, dans plusieurs pays, une telle attention au choix des pierres des parois, que souvent on les fait venir de très-loin. En Suède, il n'existe que quelques carrières dont les pierres soient regardées comme bonnes, et ce sont les seules que l'on emploie à la construction des parois de tous les fourneaux de ce pays. En Norwège, on fait venir d'Angleterre le grès avec lequel on fait les parois des fourneaux de Laurwig; pour le fourneau de Johan-Georgenstadt, on tire ses pierres de Zwickau, en Saxe, etc.

182. Lorsque l'on ne peut se procurer des 8 espèces de pierres dont on fait ordinairement usage, et que l'on a à sa disposition de bonnes pierres calcaires, on peut en construire les parois des fourneaux. Cette sorte de pierre est employée avec succès dans quelques fourneaux de Suède, dans plusieurs fourneaux de l'Allemagne, de France, et particulièrement dans ceux du département du Mont-Blanc; elle réunit, à un haut degré, les trois qualités de se travailler facilement, d'être réfractaire, et de ne pas se fendre; mais elle a le défaut de ne pouvoir plus être exposée à l'air, lorsqu'une fois elle a été chauffée.

L'action de la chaleur sur cette pierre la fait passer à l'état de chaux; cet état n'apporte aucun obstacle au fondage ni à la dureté de la pierre pendant qu'elle est rouge de chaleur, mais aussitôt qu'elle est refroidie, et qu'elle reçoit le contact de l'air, elle tombe en poussière; aussi les parois construites avec des pierres calcaires ont l'inconvénient d'avoir besoin d'être entièrement refaites à chaque fondage.

283. Si l'on manque de pierres propres à la construction des parois des fourneaux, on peut en former de toute pièce, lorsque l'on a à sa proximité de bonne argile, de l'argile réfractaire.

Pour cela, on fait fortement calciner de l'argile crue, on la pulvérise, et l'on mêle, soit une, soit deux, soit trois parties d'argile cuite avec une d'argile crue. La proportion dépend de la quantité nécessaire pour conserver un peu de liant au mélange, afin qu'il puisse se travailler et empêcher que les briques ne se gercent en se refroidissant ou en se cuisant.

Les briques qui ont été employées à la construction d'un fourneau, et qui ont subi la chaleur, la haute température que le travail du fer exige, sont préférées, dans la composition du mélange des terres, à de l'argile cuite séparément, parce que ces vieilles briques ont éprouvé, pendant le travail, une température plus haute et plus longtemps continuée; seulement il faut retrancher, il faut séparer de ces briques, avec le marteau, la petite quantité de verre terreux qui recouvre la face qui a été exposée directement à l'action du feu.

Le mélange d'argile crue et cuite est délayé avec de l'eau, pétri avec soin, et comprimé dans des moules, pour en former des briques que l'on fait sécher et cuire, et avec lesquelles on construit les parois du fourneau.

Le laitier qui coule des hauts fourneaux et qui forme, après le refroidissement, une masse dure et réfractaire, peut être employé avec avantage à la construction des parois des fourneaux; pour cela, on reçoit dans des moules de fer cette matière vitreuse lorsqu'elle coule, on l'y laisse refroidir, et l'on obtient ainsi des briques de laitier, avec lesquelles on construit les parois des cheminées supérieures de quelques fourneaux. On en fait usage en Suède : on peut voir, page 419, n° 26 du Journal des Mines, le détail de la préparation de ces briques, ainsi que le choix des laitiers qui sont propres à fabriquer celles qui servent à la construction des parois.

La Suède n'est pas le seul endroit où l'on fasse des briques avec les scories des hauts fourneaux; cette pratique est aussi en usage à Klein-

boden en Tirol (1); mais celles-ci ne servent que pour l'intérieur et l'extérieur des maisons.

284. Les parois de la cheminée des hauts fourneaux étant construites avec deux rangées de matériaux, l'une intérieure, qui forme les *parois proprement dites*, l'autre extérieure, et qui forme les *fausses parois*, on peut, lorsque l'on n'a pas une quantité assez considérable de bonnes pierres réfractaires à sa disposition, choisir les meilleures pour les parois, et employer les autres aux fausses parois qui n'éprouvent pas une chaleur si élevée.

285. Nous ne croyons pas pouvoir mieux terminer ce chapitre de la construction des hauts fourneaux, qu'en présentant une série de plans, coupes et élévations de quelques hauts fourneaux employés dans diverses parties de l'Europe, et nous avons choisi, parmi tous ceux que nous connaissons, ceux qui présentent le plus de différences et le plus d'intérêt.

1° (Planche 18.) Fourneau de Neuberg en Styrie (2), de 16 pieds de haut, n° 26 du tableau de Marcher. Il donne, par jour, 32 quintaux de fonte obtenue d'un minérai de fer spathique, produisant 36 pour 100, et consumant 221 parties de charbon par 100 parties de fonte. Les soufflets sont en bois; ils donnent 400 pieds cubes d'air par minute.

2° Haut fourneau de Carinthie, n° 2, de Marcher, donnant, par jour, 52 quintaux de fonte, provenant d'un fer spathique, produisant 42 pour 100. Il consume 136 parties de charbon par 100 parties de fonte. Les soufflets de cuir donnent 4 à 500 pieds cubes d'air par minute.

3° Fourneau à deux tuyères, de Vordernberg, de 20 pieds de haut, que nous avons observé et dessiné dans notre voyage de Carinthie; il rend, par jour, 80 quintaux de fonte provenant d'un fer spathique,

(1) Jars et Duhamel. Voyage métallurgique, tome 1er, page 65.

(2) Les trente-trois fourneaux gravés, dans les cinq planches qui les contiennent, sont tous sur une même échelle, afin que l'on puisse les comparer plus facilement entre eux.

produisant 50 pour 100. Il consume 107 parties de charbon par 100 parties de fonte. Les machines soufflantes sont cylindriques, elles donnent de 8 à 900 pieds cubes d'air par minute.

4° Fourneau de Carinthie, de 24 pieds de haut, n° 6 du tableau de Marcher; il rend, par jour, 67 quintaux de fonte provenant d'un fer spathique produisant 42 pour 100. Il consume 106 parties de charbon par 100 parties de fonte. Les caisses qui fournissent l'air en donnent 600 pieds cubes environ par minute.

5° Fourneau de Mossing en Carinthie, de 27 pieds de haut, n° 22 de Marcher. Il rend, par jour, 79 quintaux de fonte provenant d'un fer spathique produisant 51 pour 100. Il brûle 150 parties de charbon par 100 parties de fonte. Les caisses qui fournissent l'air au fourneau en donnent 500 pieds cubes par minute.

6° Fourneau à deux tuyères à Eisenartz, de 30 pieds de haut, n° 74 de Marcher; il rend, par jour, 110 quintaux de fonte provenant d'un fer spathique produisant 40 pour 100. Il brûle 182 parties de combustible par 100 parties de fonte. Ses 4 soufflets donnent de 1,000 à 1,400 pieds cubes d'air par minute.

7° Fourneau de Carinthie, de 30 pieds de haut, n° 8 de Marcher; il rend, par jour, 76 quintaux de fonte provenant d'un fer spathique produisant 47 pour 100. Il brûle 95 parties de charbon par 100 parties de fonte. Les caisses qui fournissent l'air en donnent 600 à 650 pieds cubes par minute.

8° Fourneau à deux tuyères, de 35 pieds de haut, de Treybach en Carinthie, n° 69 de Marcher; il rend, par jour, 112 quintaux de fonte provenant d'un fer spathique brun décomposé, produisant 48 pour 100; il brûle 123 parties de charbon par 100 parties de fonte. Les quatre caisses qui fournissent l'air lui en donnent de 1,800 à 2,000 pieds cubes par minute.

9° (Planche 19). Fourneau à couler de la marchandise en fonte de fer, indiqué par Courtivron, dans son Art des Forges, section 3, pl. XI. Il ne donne aucun détail sur sa consommation et sur son produit.

10° Fourneau que l'on supposait exister en Bohême, du temps de

Swedemborg. Il dit, §. 18 : « Ces fourneaux ont 20 à 24 pieds de haut; « dans quelques endroits, leur cavité est ronde, dans d'autres, elle est « carrée; le diamètre de la partie supérieure est d'environ 3 pieds; en « descendant, il devient plus ample, principalement dans les fourneaux « de forme carrée, qui ressemblent à une pyramide tronquée ».

D'après Marcher, n° 42, le fourneau de 24 pieds de haut, du comte de Wrbena, rend, par jour, 25 quintaux de fonte, provenant d'un oxide de fer compacte et terreux, de couleur rouge et jaune, produisant 32 pour 100. Il brûle 188 parties de charbon par 100 de fonte.

11° Fourneau italien de 24 pieds de haut, connu, d'après Swedemborg, §. 10, sous le nom de *cannechio*. Cette espèce de fourneau rend 60 à 70 quintaux par semaine : on l'éteint les dimanches et fêtes.

12° Fourneau du comté de Laurwig, en Norwège, décrit par Jars et Duhamel, dans leur Voyage Métallurgique, t. Ier, p. 172; il consume environ 170 parties de charbon pour produire 100 parties de fonte, provenant d'un mélange de différents minérais.

13° Fourneau de Saxe, communiqué par M. Manesle, officier d'artillerie, à M. Grignon, maître de forge, et imprimé, planche 6, de ses Mémoires de Physique, sur l'art de fabriquer le fer.

14° Fourneau de *Johann Georgen-stadt,* publié par Jars et Duhamel, dans le premier volume de leur Voyage Métallurgique, et dont la description se trouve, page 73 du même volume. Marcher dit que l'un de ces fourneaux, de 19 pieds de haut, décrit sous le n° 52 de son tableau, rend par jour 19 quintaux de fonte provenant d'hématite rouge, produisant 38 pour 100, et qu'il brûle 196 parties de charbon par quintal de fonte; qu'un second fourneau de 24 pieds de haut, décrit sous le n° 53, produit par jour 37 quintaux de fonte provenant d'un fer spathique mêlé d'oxide rouge, qui rend 60 pour 100, et qu'il s'y brûle 144 parties de charbon par 100 parties de fonte.

15° Fourneau de Suède, décrit par Swedemborg, fig. Ire, pl. 1ere.

16° Fourneau de Suède, décrit par Garney.

Un de ces fourneaux, de 23 pieds de haut, décrit par Marcher, sous le n° 49, donne par jour 67 quintaux de fonte provenant d'un minérai

oxidé, mêlé d'oxide brun compacte, et rendant 47 pour 100. Il brûle 124 parties de charbon par 100 parties de fonte : les soufflets lui fournissent 500 pieds cubes d'air par minute.

Un second fourneau de 29 pieds de haut, rendant, par jour, 106 quintaux de fonte provenant du même minérai, brûle 131 parties de charbon pour 100 parties de fonte.

17° (Planche 20). Fourneau elliptique, proposé par Grignon, p. 104, de ses Mémoires, et représenté pl. 4 et 5.

18° Fourneau des environs de Liége, indiqué par Swedemborg, §. 9. Ce fourneau a 20 pieds de haut; il coule environ 35 quintaux de fonte par jour, et l'on y brûle de 240 à 280 parties de charbon par 100 de fonte.

19° Fourneau décrit par Réaumur, que l'on croit être celui de Grossouve, et que Courtivron a copié, section 3, première partie de son Art des Forges.

20° Fourneau de Schmalkalden, dans la Hesse, de 20 pieds de haut, n° 55, de Marcher. Il rend, par jour, 35 quintaux, provenant d'un mélange de fer spathique et d'oxide brun compacte, qui paraît être un fer spathique brun, produisant 60 pour 100. Il brûle 168 parties de charbon par 100 de fonte; les machines soufflantes donnent de 4 à 500 pieds cubes d'air par minute.

21° Fourneau de Hebetheim, en Hongrie, de 23 pieds de haut, n° 44, de Marcher. Il rend, par jour, 15 quintaux de fonte provenant d'un oxide compacte et difficilement fusible, produisant 25 pour 100. Il brûle 549 parties de charbon par 100 parties de fonte.

22° Autre fourneau du comté de Laurwig, en Norwège, planche 4, du premier volume des Voyages de Jars et Duhamel. Il donne, par jour, 35 quintaux de fonte, provenant d'un mélange de fer oxidulé et de fer spathique gris et brun, produisant 44 pour 100. Il brûle 169 parties de charbon par 100 parties de fonte.

23° Fourneau de Bergen, en Bavière, dans lequel on a fait des expériences avec de la tourbe. Ce fourneau est décrit dans le Journal des Mines, vol. XXVII, pag. 295, et il donne, par jour, environ 50 quin-

taux de fonte, et brûle 20 pieds cubes de charbon par quintal de fer, environ 210 parties.

24° (Planche 21). Fourneau de Petrokamenskoï, en Sibérie, de 35 pieds de haut, n° 65 de Marcher, donnant, par jour, 215 quintaux de fonte provenant d'un mélange d'oxide concrétionné, rouge-brun, produisant 53 pour 100. Il brûle 160 parties de charbon par quintal de fonte. Ses soufflets de bois produisent 12 à 1500 pieds cubes d'air par minute.

25° Fourneau de Prenilly, département de l'Indre, proposé *ou* construit avec trois tuyères, par O'Relly, et décrit dans le Journal des Arts et Manufactures, tom. X, pag. 122 et suivantes.

26° Fourneau de Reviamskoï, en Sibérie, de 40 pieds de haut, n° 68 de Marcher. Il donne, par jour, 404 quintaux de fonte provenant d'un mélange de deux parties d'oxidule de fer à une partie d'oxidule concrétionné, produisant 62 pour 100. Il brûle 115 parties de charbon par quintal de fonte, et ses quatre cylindres lui fournissent de 15 à 1900 pieds cubes d'air par minute.

27° Fourneau du Creuzot, département de Saône et Loire; sa hauteur est de 37 pieds, environ. Dans un voyage que nous fîmes, sur cet établissement, en 1796, il donnait, par jour, 50 quintaux d'une fonte qui n'était employée qu'à faire du leste pour les vaisseaux. Cette fonte, provenant d'un oxide terreux, produisait environ 20 pour 100 : on brûlait 230 parties de charbon de houille par 100 parties de fonte obtenue, en y comprenant la houille employée pour faire mouvoir les machines soufflantes; la consommation serait de 300 parties de charbon de houille par 100 parties de fonte. Le cylindre à air produisait environ 1200 pieds cubes d'air par minute, et il consumait par jour 80 à 90 quintaux de houille.

28° Haut fourneau à double coulée, d'Abernaut, dans le South-Wales, en Angleterre, décrit dans le Journal des Arts et Manufactures d'O'Relly, tome XXIV, page 113.

29° Fourneau de Glowitz, dans la Haute-Silésie, haut de 37 à 38 pieds, décrit dans le Journal des Mines, tom. XIV, pag. 455 et suiv. Il

donne, par jour, 41 quintaux de fonte provenant d'un oxide de fer terreux géodique, mélangé d'un peu d'oxide de zinc et de sulfure de plomb. Ce minérai produit environ 30 pour 100. Il brûle 240 parties de charbon de houille, ou 480 parties de houille par 100 parties de fonte obtenue. La quantité d'air fournie par trois cylindres, est de 1000 pieds cubes par minute, environ.

30° (Planche 22). Fourneau de 40 à 50 pieds de haut, en usage dans le *Shropshire*, en Angleterre, et décrit dans le n° 100 du Journal des Mines, donnant de 100 à 120 quintaux de fonte par jour, provenant d'un oxide terreux-argileux, qui se rencontre en bancs de quelques pouces d'épaisseur, alternant avec des couches de houille, et produisant environ 33 pour 100. On y brûle 350 parties de charbon de houille pour obtenir 100 parties de fonte. La quantité d'air fournie par la machine soufflante est d'environ 1200 pieds cubes par minute.

31° Fourneau de 60 pieds de haut, en usage dans le *Glamorgau*, en Angleterre, et décrit dans le n° 100 du Journal des Mines, donnant, par jour, de 130 à 140 quintaux de fonte, provenant d'un oxide de fer terreux et argilleux produisant environ 33 pour 100. On y brûle 260 parties de charbon de houille pour obtenir 100 parties de fonte. La houille que l'on brûle est meilleure que celle du *Shropshire*. Les machines soufflantes fournissent de 12 à 1400 pieds cubes d'air par minute.

32° Fourneau de 38 pieds de haut, employé en Angleterre, décrit par O'Relly, tome VII, page 27 et suivantes du Journal des Arts et Manufactures.

33° Haut fourneau, sans machine soufflante, pour fondre le minérai de fer avec de la houille, en le tenant en contact avec du charbon de bois. Ce fourneau, décrit pag. 28 et suivantes du tome VIII du Journal des Arts et Manufactures, est annoncé comme ayant été construit et employé avec succès par le comte de *Sternberg*.

FIN DU TOME PREMIER.

EXPLICATION DES FIGURES

CONTENUES

DANS LE PREMIER VOLUME.

PLANCHE PREMIÈRE.

FIGURE 1re, *page* 9 *de l'introduction*. Forges dans lesquelles on traitait, du temps d'Agricola, les minérais les plus fusibles, particulièrement les fers oxidulés, quelques fers spathiques et quelques oxides mamelonnés, ou mieux, les minérais très-fusibles.

A, plan de la forge.

B, sa coupe verticale.

f, foyer dans lequel on place le charbon et le minérai.

s, soufflet qui fournit l'air nécessaire à la combustion.

t, ouverture de la tuyère, dans laquelle se place la buse du soufflet.

FIGURE 2, *page* 9 *de l'introduction*. Bas fourneau de 3 pieds de haut sur 5 de large, dans lequel on traitait, du temps d'Agricola, les minérais moyennement fusibles.

A, plan du fourneau.

B, coupe verticale.

f, vide intérieur dans lequel on plaçait le minérai et le charbon.

t, embrasure de la tuyère ou des soufflets.

FIGURE 3, *page* 9 *de l'introduction*. Moyen fourneau de 5 à 6 pieds de haut, dans lequel on traitait, du temps d'Agricola, les minérais de fer réfractaire, après les avoir grillés et concassés.

A, plan du fourneau.

B, coupe verticale.

f, vide ou cheminée intérieure dans laquelle on jetait le charbon et le minérai.

t, embrasure de la tuyère ou des soufflets.

s, machines soufflantes mues à bras d'homme.

C, embrasure de la coulée.

o, ouverture par laquelle on faisait couler le fer fondu et les scories.

m, marche pour s'élever, afin de charger le fourneau plus commodément.

Figure 4, *page* 13 *de l'introduction.* Fourneaux de 10 à 15 pieds de haut, employés en Suède dans le seizième siècle.

A, plan du fourneau.

B, coupe verticale.

f, vide ou cheminée intérieure dans laquelle on jetait le charbon et le minérai.

e, talus formé avec du sable qu'on laissait tomber par la partie supérieure, lequel, en rétrécissant le fond, formait des *espèces d'étalages.*

c, creuset.

t, embrasure de la tuyère ou des soufflets.

a, embrasure de la coulée.

o, trou de la coulée.

m, muraillement du fourneau.

Figure 5, *page* 13 *de l'introduction.* Fourneau de 20 pieds de haut, environ, introduit en Suède par les Allemands, dans le commencement du dix-septième siècle.

A, plan du fourneau.

B, coupe verticale.

p, cheminée ou vide pyramidal supérieur.

g, ouverture supérieure, ou *gueulard,* par lequel on charge le charbon ou le minérai.

e, vide pyramidal inférieur, ou *étalage.*

c, creuset dans lequel s'accumulent la fonte et les scories.

o, ouverture inférieure pour couler la fonte.

s, ouverture supérieure pour couler les scories.

a, embrasure de la coulée.

t, embrasure de la tuyère ou des soufflets.

m, *massif* du fourneau.

Figure 6, *page* 13 *de l'introduction.* Fourneau de 24 à 27 pieds de haut, introduit en Suède par les soixante-trois familles Wallonnes que Louis de Gyer y fit venir de Liége et de Namur, en 1650.

A, plan du fourneau.

B, coupe verticale.

p, cheminée ou vide pyramidal supérieur.

g, gueulard, ouverture supérieure par laquelle on jette dans le fourneau le charbon et le minérai.

e, vide pyramidal inférieur formant l'ouvrage et les *étalages.*

d, massif nommé *dam* par les Suédois, et *dame* par les Français. On bouche avec ce massif une partie du creuset.

o, ouverture par laquelle on fait couler la fonte liquide.

s, ouverture formée entre la tympe T et la dame *d*, par laquelle les scories ont un écoulement continuel.

a, embrasure de la coulée.

t, embrasure de la tuyère ou des soufflets.

m, massif du fourneau.

q, pilier de cœur.

N° 15, A, B, *page* 23. Système de verges de fer et de cuivre employées à suspendre les pendules construits de manière que la distance, entre les points de suspension et le centre de gravité, soit constante.

A, Système composé de deux verges de fer et d'une de cuivre.

a, couteau de suspension de la verge de fer *ab*.

e, point d'arrêt de la verge de cuivre *ed*.

gd, petit balancier fixé en *c*, sur la verge de fer *ab*, et qui oscille sur ce point.

d, point d'articulation du balancier *gd*, avec la verge de cuivre *ed*.

g, point d'articulation du petit balancier *gd*, avec une verge de fer *fg*, qui suspend la lentille *l*.

fh, bride de fer ou de cuivre qui empêche les trois verges de s'écarter l'une de l'autre.

Lorsque la barre de fer *ab* s'alonge par la chaleur, le point *c* d'oscillation du balancier s'abaisse, la verge de cuivre *ed* s'alongeant beaucoup plus que celle de fer, le point *d*, qui y communique, descend plus bas que le point *c*, et alors le balancier s'inclinant vers *d* fait relever le point *g* au-dessus du point *e*, relève par ce moyen la barre *fg* et la lentille *l* qui y est suspendue. Lorsque la longueur des verges de cuivre et de fer est bien proportionnée, le centre de gravité du système est soulevé d'une quantité égale à l'abaissement du point *c*, et la distance entre le point de suspension et le centre de gravité, reste la même.

B, système composé de plusieurs verges de fer et de cuivre que l'on a réduites, dans cette figure, à quatre verges de fer et deux de cuivre.

a, est le couteau de suspension placé à l'extrémité de la petite verge de fer *ab*, fixée sur la traverse *kd*.

ff, deux verges de fer fixées sur les deux traverses *kd*, *eg*.

cc, deux verges de cuivre posées sur la traverse *eg*, et fixées sur une troisième traverse *h*.

hi, verge de fer fixée sur la petite traverse *h*, et à l'extrémité de laquelle est suspendue la lentille *l*.

Lorsque les barres *ab*, *ff*, s'alongent par la chaleur, la traverse *eg* s'écarte du point de suspension *a*; mais les verges de cuivre *cc*, qui s'alongent davantage, soulèvent la plus petite traverse *h*, ce qui rapproche le point *h* du point de suspension *a*; et la verge de fer *hi*, qui supporte la lentille *l*, se trouve ainsi soulevée; et si, par la construction, on obtient un soulèvement tel que l'élévation du centre de gravité de tout le système soit égale à l'élévation du point *h*, la distance entre le point de suspension du pendule et son centre de gravité reste le même.

N° 72 C, *page* 47. Machines imaginées par Ramus, alors directeur de l'établissement du Creuzot, pour déterminer la résistance de la fonte.

D, est une masse de fonte de 9 pouces de long, ayant, dans son intérieur, un vide de 5 pouces de long sur 4 de large, et dans lequel on a conservé deux couteaux *aa*, l'un supérieur et l'autre inférieur. Cette masse était fixée solidement dans un mur.

ef, est un barreau de fonte de 18 pouces de long sur 3 de côté, et placé de manière à pouvoir éprouver sa résistance.

E, grand lévier de fer de 6 pieds 6 pouces de long, pesant 112 livres. Ce lévier est fixé au barreau de fonte, par une de ses extrémités, avec des étriers de fer *gh*.

F, plateau de bois suspendu à l'autre extrémité du lévier par le moyen d'un étrier de fer *k*.

On détermine la ténacité de la fonte, à l'aide de cet appareil, par le moyen des poids que l'on pose dans un plateau de balance; le point *k* étant toujours à la même distance des couteaux *aa*, la résistance est proportionnelle aux poids employés.

N° 88 AG, *page* 60. Deux machines destinées à déterminer la résistance du fer et de l'acier.

La machine A fut employée par Muschembroek; elle est décrite dans son Cours de Physique expérimentale, §. MCXLIII.

LL, sont les représentations verticales de deux anneaux de fer dont *ab* représente le plan horizontal.

e, est une entaille pratiquée dans chaque anneau.

M, sont des prismes de fer ou d'acier dont on veut éprouver la résistance par traction; ils sont terminés aux deux extrémités par deux fortes têtes qui les retiennent dans les entailles des léviers.

On attache l'étrier supérieur à un point fixe. On suspend à l'étrier inférieur le plateau d'une balance que l'on charge jusqu'à ce que le fer rompe en s'étirant.

Prony a observé que, dans cette expérience, on déterminait facilement le point où la rupture devait avoir lieu, parce que c'était toujours celui qui s'échauffait le plus.

La machine G a été décrite par M. Texier de Norbeck, dans ses Recherches sur l'artillerie; elle a été employée à Saint-Gervais en Dauphiné, pour déterminer la résistance comparée de la fonte et du fer.

aba, est une chape de fer, de 12 à 15 pouces de longueur.

H, est la barre que l'on veut rompre, et que l'on place dans deux entailles pratiquées à l'extrémité *aa* de la chape.

I, est un crochet que l'on place sur le milieu de la barre, lequel est aiguisé en biseau pour qu'il puisse poser exactement sur le milieu de la barre H.

K, est un plateau suspendu à l'extrémité du crochet I; et l'on détermine, par les poids que l'on place dedans, la résistance que le fer éprouve avant d'être rompu.

N° 88 N, *page* 62. Machine inventée par Perronet, premier ingénieur des ponts et chaussées de France; elle fut exécutée en 1758, pour connaître la résistance absolue des bois, des pierres et des métaux employés dans les constructions : elle fut publiée par M. Lesage, ingénieur en chef des ponts et chaussées, dans le deuxième Recueil des Mémoires extraits de la Bibliothèque impériale des ponts et chaussées.

AA, double lévier calculé dans toutes ses parties, et parfaitement exécuté.

B, centre de rotation.

C, montant en fer qui doit soutenir tout l'effort de la machine.

D, D, étriers qui tiennent les deux bras du lévier.

E, plateau sur lequel on pose successivement les poids dont la totalité peut aller jusqu'à 900 livres (440k, 55).

F, échancrure dans laquelle est placé l'anneau qui supporte le plateau.

G, montants en fer.

H, échafaud en fer.

I, I, deux traverses de fer qui, par leur forme et leur position, peuvent varier entre elles les intervalles, en raison de la longueur de la pièce à éprouver.

J, trou vertical, percé à l'extrémité du lévier, dans lequel on passe les pièces qu'on veut mettre en expérience.

K, mâchoires de fer pour servir à connaître la ténacité ou la cohésion des métaux.

L, tige à vis, taraudée avec soin.

M, son écrou, également taraudé.

N, fort sommier de chêne.

O, billot de bois de différentes hauteurs.

P, corde attachée à des poulies de renvoi pour élever le lévier.

Q, premier poids posé sur ce plateau.

EXPLICATION DE LA PLANCHE II.

Figure 1[re], *N°* 155, *page* 118. Couches de minérais stratifiés entre des couches de roche.

A, coupe verticale d'un terrain contenant des couches planes.

a, *a*, couches de minérai.

b, *b*, bancs de roche.

B, coupe verticale d'un terrain qui contient des couches contournées.

a, *a*, couches de minérai.

b, *b*, bancs de roche.

Figure 2, *N°* 155, *page* 118. Filons, ou fentes remplies de minérais. Elles sont ordinairement perpendiculaires aux couches de roche dans lesquelles elles se sont formées.

C, coupe verticale d'un terrain contenant des filons.

a, *a*, filons, ou fente remplies de minérais.

b, *b*, bancs de roche, ou coupes des pierres dans lesquelles se trouvent les filons.

E, réunion de deux filons qui ont produit une grande excavation remplie de minérais, et à laquelle on donne le nom de *masse*.

Figure 3, *N°* 155, *pages* 118 *et* 119. Coupe verticale de terrains dans lesquels se trouvent des *masses*, des *amas*, des *rognons* ou des *nids* de minérais.

D, coupe verticale d'un terrain qui contient une masse de minérais.

a, *b*, *d*, *f*, grande excavation faite dans la roche et à laquelle on donne le nom de *masse* ou de *stoek-werck*, lorsqu'elle est remplie de minérais.

c, *c*, *c*, bancs de roche, ou couches de pierres dans lesquelles se trouve la masse.

F, coupe verticale d'un terrain dans lequel se trouve un *amas*.

a, banc de minérai recouvert de terre ou de sable auquel on donne le nom d'*amas*.

b, roches, pierres, sables ou terres sur lesquelles est posé l'*amas* de minérais.
c, terrain ou sable qui recouvre l'*amas*.
G, coupe verticale d'un terrain dans lequel se trouvent des rognons ou des nids de minérais.
a, *a*, *a*, *rognons* ou *nids* de minérais dispersés çà et là dans le terrain.
b, *b*, banc de roche, ou couche de pierres, de sable ou de terre, dans lesquels sont dispersés les rognons ou les nids de minérais.

EXPLICATION DE LA PLANCHE III.

N° 171, *page* 132. *Mortier* dans lequel on pulvérise les minérais lorsqu'on veut les essayer par la voie sèche ou par la voie humide.
abc, profil du mortier qui peut avoir 25 centimètres de hauteur environ.
de, *pilon* avec lequel on casse le minérai.
B, *tamis* de fil de fer, de gros cuivre, ou de soie, à travers lesquels on passe les minérais pulvérisés.
fg, plan horizontal du tamis.
hl, vue du tamis projeté sur un plan vertical.
N° 172, *page* 132, C. Dessin de *balance* avec laquelle on pèse le minérai que l'on veut essayer.
aa, fléau de la balance.
bb, plateaux dans lesquels on place les minérais à peser et les poids qui lui font équilibre.
ccc, support du fléau de la balance, qu'on élève et abaisse par le moyen d'une corde qui passe le long du support.
d, boite sur laquelle est fixé le support.
ee, tiroir dans lequel sont serrés les poids, les pièces et tous les instruments nécessaires à la balance.
N° 173, *page* 133, D. *Creusets* dans lesquels on fond le minérai pulvérisé.
a, profil des creusets.
b, coupe verticale d'une pile formée de plusieurs creusets placés les uns dans les autres.
G, petit cylindre de terre qui sert de support au creuset, et qu'on nomme *fromage*.
e, creuset posé sur un fromage qui lui sert de support.
H, creuset posé sur un autre creuset renversé qui lui sert de support.
I, coupe verticale d'un creuset *brasqué*. Le minérai pulvérisé se place dans l'espace *a*.

K, coupe verticale d'un creuset brasqué, recouvert de son *chapeau a*.

L, creuset brasqué, recouvert d'un second creuset plus petit qui lui sert de chapeau.

d, projection sur un plan vertical d'un creuset recouvert d'un autre qui lui sert de chapeau, et posé sur un troisième qui lui sert de support.

N° 174, *page* 134, Figure E, M, N. Forge de maréchal, qui peut être employée à faire des essais par la voie sèche.

E, profil d'une forge.

abc, maçonnerie formant support, et dans laquelle est creusé le foyer de la forge.

def, cheminée qui recouvre la forge.

ghi, petit muraillement mobile, construit en briques, pour retenir le charbon qui environne le creuset.

K, soufflet.

l, poteau qui supporte le soufflet.

mn, lévier oscillant qu'on fait mouvoir à l'aide de la corde, pour déterminer le mouvement du soufflet.

M, encaissement carré, formé avec des briques, sur le foyer de la forge, pour retenir le charbon.

t, ouverture de la tuyère.

c, position du creuset.

N, encaissement circulaire, formé avec des briques, sur le foyer de la forge, pour retourner le charbon.

t, ouverture de la tuyère.

c, position du creuset.

N° 175, *page* 135, Figure F, P, Q. Plans et coupes verticales du fourneau d'essais, construits par M. Gay-Lussac, à l'Ecole impériale polytechnique.

F, coupe verticale du fourneau.

fgde, vide ellipsoïdal du fourneau, dont la hauteur est de 30 centimètres environ, et le diamètre du milieu de 20.

de, grille de fonte qui retient les charbons, et sur laquelle on pose le creuset.

a, ouverture par laquelle l'air arrive dans le fourneau.

bc, plaque de fonte percée de plusieurs ouvertures, placée entre le fond et la grille, à 8 centimètres de hauteur du premier. Cette plaque oblige l'air à se distribuer uniformément sous la grille.

P, plan de la plaque de fonte placée entre le fond et la grille du fourneau.

Q, plan de la grille du fourneau.

EXPLICATION DE LA PLANCHE IV.

N° 175, *page* 135, Figure O, R, Y, Z. Dessin de fourneau d'essai de l'Ecole pratique du Mont-Blanc, construit dans le laboratoire de Moustier.

Figure Z, plan du fourneau de Moustier.

Figure O, coupe verticale du même fourneau.

ab, ouvertures par lesquelles le vent arrive sous la grille.

ccc, coupe et plan de la grille.

defg, vide intérieur au-dessus de la grille : ce vide a 33 centimètres de hauteur sur 8 centimètres de largeur.

mm, massif du fourneau.

Figure R, projection oblique de la grille.

Figure Y, boîte dans laquelle arrive le vent du soufflet, d'où il sort ensuite pour se distribuer dans deux tuyaux et se répandre par les deux ouvertures placées au dehors de la grille.

s, boîte dans laquelle arrive le vent.

i, tuyaux par où l'air arrive.

kl, tuyaux par où il sort.

a, registre pour modifier les ouvertures par lesquelles l'air doit sortir de la boîte.

Figure T, soufflet d'orgue, employé pour fournir au fourneau l'air qui lui est nécessaire.

abcd, plan du soufflet.

mnor, projection du soufflet sur un plan vertical.

p, poids qui fait retomber le volant.

ghik, lévier courbe, à l'aide duquel on fait mouvoir le volant.

h, point d'oscillation du lévier.

e, poids qui comprime l'air dans la partie supérieure du soufflet.

f, ouverture par laquelle sort l'air.

N° 176, *page* 136, Figure U, V, K, L, tenailles dont on fait usage pour manœuvrer les creusets.

Figure U, tenailles de forge ordinaire.

Figure V, tenailles à mâchoires courbes pour placer et retirer les creusets des fourneaux d'essais; elles sont projetées sur deux plans différents.

Figure K, tenailles connues sous le nom de *moustaches*.

Figure L, tenailles dont une des mâchoires est bifurquée pour retenir plus facilement les creusets et les tests à rôtir.

N° 178, *page* 137, Figure N, O, tests à rôtir, dans lesquels on grille les minérais.

N, coupe verticale du test à rôtir.

O, projection sur un plan vertical du test bouché et posé sur un fromage.

a, test.

b, chapeau.

c, fromage.

EXPLICATION DE LA PLANCHE V.

N° 175, *page* 136, etc., Figure A*a*, A*b*. Dessin du fourneau d'essai, imaginé et mis en usage par Lavoisier.

Figure A*a*, coupe verticale du fourneau.

abcd, grille sur laquelle est posé le fourneau.

cdef, intérieur du fourneau, dans lequel on place le creuset et le combustible.

efgh, intérieur du dôme qui recouvre le fourneau.

ghik, tuyau évasé par le haut, par lequel sort la fumée.

Figure A*b*, projection sur un plan vertical de l'extérieur du fourneau.

l, porte par laquelle on place le creuset dans le fourneau.

m, porte par laquelle on jette le combustible dans le fourneau.

N° 187, *page* 149, masses et marteaux employés pour concasser le minérai, afin de le trier plus facilement.

A, masse de pierre ou de fonte, sur laquelle on place les minérais que l'on veut concasser.

B, marteaux en forme de prisme.

a, grosse masse.

b, gros marteau emmanché par le milieu.

c, gros marteau emmanché par un bout.

C, marteaux en forme de prisme par un bout, et de coin par un autre.

D, marteau composé de deux coins.

N° 188, *page* 149, Figure E, F. Divers moyens employés pour laver les minérais qu'on veut trier.

Figure E, tamis dans lesquels on place les minérais pour les laver.

a, plan d'un tamis circulaire.

b, plan d'un tamis carré.

c, profil de ces deux tamis.

defg, grillage de fil de fer dont ces tamis sont ordinairement formés.

Figure F, baquets dans lesquels on lave le minérai.

G, lévier flexible après lequel on suspend les tamis, lorsque le lavage se fait par secousse.

hi, auge dans laquelle on met le minérai qui doit être lavé.

H, barres de fer placées dans le baquet, lorsque le lavage se fait par un mouvement horizontal.

N° 191, *page* 151, Figure I, K, L, M. Quelques instruments qui servent au lavage des minérais.

Figure I, bassins creusés dans la terre et dans lesquels on lave le minérai.

Figure K, bassins quadrangulaires, garnis de forts madriers, pour retenir l'eau et empêcher qu'elle ne s'infiltre dans la terre.

a, conduit par lequel arrive l'eau d'un ruisseau.

b, premier bassin dans lequel on place le minérai, et que l'eau lave dans son passage.

c, canal de communication entre le premier et le second bassin.

d, second bassin dans lequel l'eau dépose, dans son passage, les substances les plus pesantes.

e, canal par lequel s'écoule l'eau, en entraînant avec elle les terres qu'elle tient en suspension.

On creuse quelquefois un plus grand nombre de bassins.

Figure L, rabot et pelles avec lesquels on remue le minérai dans le besoin.

fg, rabot courbe en fer avec un manche de bois.

h, plan de fer du rabot.

i, *k*, rabot entièrement de bois.

Figure M, pelle de bois avec laquelle on retire le minérai des bassins.

N° 192, *page* 152, Figure N, O. Instruments avec lesquels on lave le minérai par immersion et par secousse.

Figure N, chaudrons percés de trous assez gros pour laisser passer la terre que l'eau entraîne, et assez petits cependant pour retenir le minérai.

Figure O, panier dans lequel on lave le minérai, et à travers les interstices duquel les terres entraînées par l'eau peuvent passer.

EXPLICATION DE LA PLANCHE VI.

N° 192, *page* 152, Figure P, Q. Plan et coupe de deux instruments pour laver les minérais.

Figure P, *égrappoir.*

A, plan horizontal de l'égrappoir.

B, coupe verticale de l'égrappoir.

n, canal par lequel l'eau arrive pour laver le minérai.

abcd, *tremie*, dans laquelle on place le minérai à laver.

efgh, grillage oblique, en fer, sur lequel le minérai entraîné par l'eau est obligé de descendre.

iklm, bassin qui reçoit l'eau, et dans lequel se précipitent les terres pesantes et les petites portions de minérai que l'eau ne peut pas entraîner.

Figure Q, *laverie à gradins.*

a, caisse remplie de minérais à laver, et par laquelle arrive l'eau.

b, première caisse garnie dans le fond d'un treillage de fer, dont les mailles sont assez larges pour laisser passer les fragments de minérais, et assez petites pour retenir les pierres plus grosses.

c, seconde caisse dont le fond, qui est en tôle, est percé de trous, dont la grandeur permet à l'eau de passer avec les terres ou les sables qu'elle entraîne, mais qui retient les minérais lavés qui y parviennent.

N° 193, *page* 153, Figure R, R*r*. *Patouillet* pour laver le minérai.

Figure R, coupe verticale du patouillet.

Figure R*r*, plan horizontal du patouillet.

e, canal par lequel arrive l'eau.

d, auge dans laquelle on place le minérai que l'on veut laver.

fgh, roue à aube mue par l'eau.

i, arbre horizontal sur lequel est fixée la roue, et qui tourne avec elle.

k, barres de fer coudées, fixées sur l'arbre, et qui déplacent continuellement le minérai par leurs mouvements dans l'auge.

l, ouverture pratiquée au fond de l'auge pour faire écouler et sortir le minérai qu'elle entraîne.

c, premier bassin dans lequel le minérai entraîné par l'eau se dépose.

b, canal de communication entre les deux bases.

a, second bassin dans lequel il se dépose du minérai plus léger.

N° 201, *pages* 163 *et* 164, Figure *a*, *b*, *c*. Arrangement du minérai pour être grillé à l'air libre.

Figure a, plan et coupe de l'arrangement du minérai grillé avec de la houille, en Angleterre.

mnop, plan dressé, sur lequel on place le minérai et le combustible.

qr, lits de combustible.

st, lits de minérais.

Figure b, arrangements des couches de minérai et de combustible dans le grillage avec le charbon de bois.

st, lits de minérais.

qr, lits de combustible.

N° 202, *page* 165, Figure *d*, *e*, *f*, *m*, *g*, *h*. Plans, coupes et élévations des aires murées dans lesquelles on grille du minérai.

Figure d, fourneau formé de deux murs parallèles.

ii, ouvertures par lesquelles l'air entre dans le fourneau pour faciliter la combustion.

Figure e, fourneau formé de trois murs, deux parallèles et un perpendiculaire.

ii, ouvertures par lesquelles arrive la quantité d'air nécessaire à la combustion.

Figure f, fourneau prismatique quadrangulaire.

m, plan du fourneau.

n, élévation du fourneau.

o, porte par laquelle on entre et l'on sort le minérai, et par laquelle entre l'air nécessaire à la combustion.

Figure m, fourneau quadrangulaire en usage en Suède, pour griller le minérai avec du bois.

p, plan horizontal du fourneau.

q, coupe verticale du fourneau.

aaa, gros blocs de bois, placés verticalement, pour faciliter le courant d'air.

iii, grosses pièces de bois placées horizontalement sur le sol, pour soutenir les pièces moins fortes que l'on pose dessus, et qui doivent servir au grillage du minérai.

qq, lits de minérais.

ss, lits de combustible.

Figure g fourneau circulaire.

Figure h, fourneau elliptique.

m, plan des fourneaux.

n, élévation.

o, porte d'entrée.

EXPLICATION DE LA PLANCHE VII.

N° 202, *page* 165, FIGURE *k*. Fourneau de grillage prismatique quadrangulaire, garni de plaques de fonte dans le fond, et au-dessous desquelles sont des canaux pour faciliter l'accès de l'air nécessaire à la combustion.

abcd, plan horizontal du fourneau.

oo, plaques de fonte formant le fond; elles sont assez écartées l'une de l'autre pour que l'air puisse passer dans l'intervalle qui les sépare.

pp, porte d'entrée de l'air dans les canaux inférieurs.

efgh, coupe verticale du fourneau.

oo, plaque de fonte formant le fond.

s, *s*, *s*, canaux inférieurs pour la circulation de l'air.

Figure r, fourneau de grillage quadrangulaire, creusé dans le roc.

N° 203, *page* 166, FIGURE *m*, *n*, *o*. Fourneaux à grillages pyramidaux dans lesquels le minérai est stratifié avec le combustible, de manière à pouvoir produire un grillage continu, lorsqu'on le juge convenable.

Figure l, fourneau conique en usage dans les Pyrénées et dans les Alpes.

a, plan horizontal du fourneau.

b, coupe verticale.

p, porte par laquelle on fond le minérai, lorsqu'il est entièrement grillé.

Figure m, fourneau pyramidal quadrangulaire, employé dans les Pyrénées et dans les Alpes.

a, plan horizontal du fourneau.

b, coupe verticale.

c, voûte de gros minérais, formée dans la partie inférieure, pour soutenir la masse supérieure.

p, porte par laquelle on met du combustible sous la voûte *c*, et par laquelle on sort le minérai grillé.

Figure n, coupe verticale d'un fourneau conique à banquette, en usage en Angleterre, particulièrement dans la province de Galles.

b, banquette sur laquelle on construit la voûte *c* de gros minérais destinés à soutenir toute la charge supérieure du minérai.

c, voûte formée avec de gros blocs de minérais.

p, porte par laquelle on jette le combustible sous la voûte et par laquelle on sort le minérai grillé.

Figure O, fourneaux de grillages pyramidaux, chauffés avec de la houille.

abc, vide piramidal du fourneau.

e, grille sur laquelle on place la houille avec laquelle on produit le grillage.

p, porte par laquelle on jette la houille dans le fourneau.

v, voûte par laquelle arrive l'air qui doit entretenir la combustion.

N° 204, *page* 167, Figure *p*, *q*. Fourneaux de grillage placés sous des hangars, pour que le minérai soit à l'abri de la pluie et de la neige pendant le grillage.

Figure p, grand hangar contenant trois grands fourneaux de grillage analogues à ceux qu'on emploie à Freiberg, en Saxe, pour griller le plomb.

abcd, plan horizontal des trois fourneaux accolés.

p, *p*, *p*, portes des fourneaux, soit pour y placer le minérai et le combustible, soit pour donner entrée à l'air, soit enfin pour sortir le minérai lorsqu'il est grillé.

lghif, coupe verticale du hangar, sous lequel sont placés les fourneaux de grillage.

ff, poteaux qui soutiennent le hangar.

ghi, charpente qui le couvre.

lkmn, coupe des fourneaux de grillage.

k, *k*, murs des fourneaux.

l, *m*, *n*, couches de minérais stratifiés avec du combustible.

Figure q, fourneaux de grillage de Styrie et de Carinthie, placés sous des appentis.

abcd, muraillement de deux fourneaux de grillage accolés l'un à l'autre.

p, porte pour entrer dans l'intérieur du fourneau et pour faciliter l'entrée de l'air nécessaire à la combustion, et pour retirer le minérai grillé.

f, *f*, poteaux qui supportent l'appentis.

ghik, couverture du fourneau.

N° 205, *page* 168, Figure *s*, *y*. Fourneaux de reverbère, dans lesquels on peut griller le minérai.

Figure s, fourneaux de réverbère ordinaires.

a, plan horizontal du fourneau.

b, coupe verticale.

t, foyer du fourneau; endroit où se place la houille.

p, porte par laquelle on jette la houille dans le foyer.

u, sole dn fourneau, emplacement sur lequel on met le minérai à griller.

q, *r*, porte par laquelle on introduit les rables avec lesquels on remue le minérai.

o, trémie, ouverture par laquelle on jette le minérai sur la sole du fourneau.

Figure y, coupe verticale d'un fourneau de réverbère à plusieurs étages.

t, foyer sur lequel on place la houille.

x, soles des trois fourneaux superposés.

a, espèce de cheminée par où passe l'excédent de la chaleur du premier fourneau dans le second.

b, cheminée par laquelle l'excès de la chaleur passe du second fourneau dans le troisième.

v, cheminée par laquelle la fumée sort à l'extérieur.

o, trémie par laquelle on jette le minérai dans le troisième fourneau.

s, ouverture par où l'on fait passer le minérai du troisième fourneau dans le second.

z, ouverture par laquelle on fait passer le minérai du second fourneau dans le premier.

r, *r*, *r*, portes par où l'on passe le rable pour remuer le minérai.

N° 210, *page* 176, FIGURE A. Gros marteaux, mus par l'eau, avec lesquels on casse les minérais grillés et les scories qui retiennent de la fonte.

B, plan horizontal de l'ensemble de la machine.

C, élévation verticale.

D, élévation oblique.

abc, roue à aube mue par un courant d'eau *o*.

d, arbre sur lequel la roue est fixée et qui se meut avec elle.

e, camme fixée sur l'arbre pour faire mouvoir le marteau.

f, gros marteau de fer pour piler le minérai ou les scories.

fg, pièce de bois qui lui sert de manche, et sur l'extrémité *g* de laquelle les cammes appuient pour mouvoir le marteau.

h, poteau qui supporte le marteau et son axe d'oscillation.

i, masse de fer sur laquelle on place les matières qui doivent être concassées.

klmn, caisse de bois dans laquelle les minérais grillés et les scories sont contenus.

E, marteau de fonte ou de fer, représenté sur une plus grande échelle.

r, ouverture dans laquelle on place le manche.

F, masse de fonte sur laquelle le marteau pile le minérai et les scories.

EXPLICATION DE LA PLANCHE VIII.

N° 210, *pages* 175 *et* 176. Dessin d'un bocard à cinq pilons pour concasser les minérais et les scories.

A, plan horizontal du bocard.

G, coupe verticale du bocard.

E, élévation verticale et oblique du bocard.

abc, roue à aube que l'eau fait tourner.

d, arbre dans lequel la roue est fixée et qui tourne avec elle.

eee, cammes qui soulèvent les mentonnets des pilons, auxquels ils sont fixés.

mm, mentonnets des pilons.

ppp, pilons soulevés par les cammes, et qui, en retombant, brisent les minérais par leurs propres poids.

C, caisse dans laquelle on place le minérai, et d'où il retombe dans l'auge par les secousses qu'elle reçoit.

f, lévier qui communique à la caisse, sur lequel frappe un petit mantonnet *n*, lorsque le pilon ne rencontre plus de minérai à briser.

g, auge dans laquelle se concasse le minérai.

D, grillage à travers lequel passe le minérai concassé, lorsqu'il est à la grosseur convenable.

Figure C, pilons de fonte de fer que l'on fixe à l'extrémité de longs poteaux que les cammes soulèvent.

a, projection verticale d'un pilon de fonte massif.

b, projection verticale d'un pilon de fonte, terminé en pointe de diamant.

d, plan horizontal d'un pilon de fonte en pointe de diamant.

Figure D, barreaux triangulaires qui forment la grille à travers laquelle s'échappent les minérais concassés.

Figure F, portion d'arbre et de pilon, développée plus en grand.

d, coupe verticale de l'arbre mu par l'eau.

e, *e*, *e*, cammes qui soulèvent le pilon.

m, mentonnet emmanché dans le poteau, à l'extrémité duquel est fixée la masse de fonte qui concasse le minérai.

p, poteau qui fait partie du pilon.

N° 211, *page* 177, Figure H, J, X. Plan et détail d'un bocard circulaire pour concasser le minérai.

Figure H, coupe verticale du bocard tournant.

M, roue à aube mue par l'eau.

N, arbre dans lequel est emmanchée la roue, et qui tourne avec elle.

OO, lanterne qui s'engrène dans deux roues dentées, pour faire mouvoir les arbres G, K.

Q, roue dentée, mise en mouvement par la lanterne O, et qui fait tourner l'arbre G.

G, arbre vertical qui fait tourner la roue dentée R.

R, roue dentée qui s'engrène dans la lanterne F, et qui la fait mouvoir.

F, lanterne mise en mouvement par la roue dentée R, et qui fait tourner l'arbre L.

L, arbre horizontal sur lequel sont fixées les cammes *e* qui tournent avec lui.

eee, cammes qui soulèvent des léviers horizontaux *l*, après lesquels sont fixés des pilons verticaux.

P, roue dentée que fait tourner la lanterne O, et qui communique son mouvement de rotation à l'arbre vertical K.

K, arbre vertical dans lequel est emmanché un plan circulaire J, qui se meut avec lui.

J, plan circulaire, recouvert d'un grand grillage auquel l'arbre K communique son mouvement de rotation. Les pilons sont placés sur le grillage que l'on charge de minérais; ceux-ci sont concassés par le choc des pilons. Ses fragments, assez petits, passent à travers les ouvertures que les barres de fer laissent entre elles; le plan et le grillage ayant un mouvement de rotation, chaque portion du plan apporte, sous les pilons, les minérais dont il est continuellement chargé.

Figure J, plan et coupe du grillage circulaire et de l'assemblage qui le supporte.

Figure X, plan et coupe du grillage circulaire, avec les détails de l'arbre des cammes et des pilons qui concassent le minérai.

EXPLICATION DE LA PLANCHE IX.

N° 214, *page* 181, Figures A, B, C, D, O, P, représentant six hauts fourneaux, ayant chacun une forme différente.

Figure A, fourneau prismatique.

Figure B, fourneau pyramidal tronqué, posé sur sa base.

Figure C, fourneau pyramidal prismatique.

Figure D, fourneau prismatique pyramidal.

Figure O, stuck-offen de Styrie et de Carinthie, ayant 12 pieds de haut.

Figure P, fourneau anglais pyramidal de 60 pieds de haut. On donne à quelques-uns de ces fourneaux la forme d'un cône.

N° 215, *page* 182, FIGURE E, F, G, H. Dessin de plusieurs embrasures de hauts fourneaux.

Figure E, projection verticale d'un fourneau à deux embrasures.

abcd, massif du fourneau.

efgh, ouverture des embrasures.

Figure F, plan d'un fourneau à trois embrasures.

a, embrasure de la coulée.

c, creuset.

f, ouverture de la coulée.

b, *b*, embrasure des machines soufflantes.

t, *t*, ouverture de la tuyère.

m, massif du fourneau.

p, *p*, pilier de cœur.

o, *o*, ouverture pratiquée dans le pilier de cœur, pour observer ce qui se passe dans l'embrasure des machines soufflantes.

Figure G, plan horizontal d'un stuck-offen de Styrie et de Carinthie.

a, embrasure qui sert à-la-fois à la coulée et aux machines soufflantes.

c, creuset.

f, ouverture de la coulée.

m, massif du fourneau.

Figure H, plan d'un fourneau des départements de l'Isère et du Mont-Blanc.

c, creuset.

a, simulacre d'embrasure qui sert à-la-fois aux machines soufflantes et à la coulée.

f, ouverture de la coulée.

N° 216, *pages* 183 *et* 184, FIGURE J, K, L, M, N. Représentation de diverses plates-forme des hauts fourneaux.

Fig. I; *ab*, *bure* qui termine l'ouverture supérieure des hauts fourneaux.

cde, embrasure des machines soufflantes.

fgh, embrasure de la coulée.

Fig. K; *ab*, batailles verticales qui entourent la plate-forme.

p, porte pratiquée dans les batailles pour entrer sur la plate-forme.

Figure L; *ab*, batailles inclinées qui entourent la plate-forme.

p, porte pratiquée dans les batailles pour arriver sur la plate-forme.

Figure M; *ab*, appentis pratiqués le long des batailles pour mettre les chargeurs et le combustible à l'abri de la pluie et de la neige. Cet appentis est dangereux.

Figure N; *abcd*, appentis sur quelques fourneaux de Suède, pour abriter les chargeurs, le combustible et le minérai.

N° 220, *page* 188, Figure F. Plan d'un fourneau à deux embrasures.

b, face de devant.

c, face de la rustine.

d, face du vent ou de la tuyère.

e, face de contre-vent.

f, embrasure de la coulée.

h, creuset.

m, ouverture de la coulée.

g, embrasure des machines soufflantes.

i, ouverture de la tuyère.

a, pilier de cœur.

oo, ouverture de regard de l'embrasure de la coulée dans celle des machines soufflantes.

EXPLICATION DE LA PLANCHE X.

N° 215, Figure A, *page* 184. Coupe de la plate-forme d'un haut fourneau, avec l'indication des ouvertures pratiquées dans le massif pour renouveler l'air.

ab, batailles.

c, *c*, bure.

d, gueulard.

o, *p*, canaux pour établir la circulation de l'air sur la plate-forme.

N° 216, *page* 184, Figure Q. Différentes cheminées élevées au-dessus des hauts fourneaux, pour déterminer un meilleur tirage et pour abriter la plate-forme de l'action du vent, de la pluie et de la neige.

abcdef, cheminée très-élevée, pratiquée sur plusieurs fourneaux de Styrie et de Carinthie.

h', *h*, ouvertures par lesquelles on arrive sur la plate-forme, pour charger le combustible et le minérai.

cd, ouverture supérieure par laquelle la fumée se dégage.

iklm, autre espèce de cheminée pratiquée sur quelques fourneaux de Styrie et de Carinthie.

n, ouverture par laquelle on arrive sur la plate-forme pour charger le combustible et le minérai.

o, ouverture par laquelle la fumée se dégage.

p, ouverture par laquelle s'écoulent les gaz et l'acide carbonique qui se déposent sur la plate-forme.

qrstuv, cheminée pratiquée sur un haut fourneau, représenté planches 7 et 10 des grosses forges, dans l'Encyclopédie par ordre des matières.

x, ouverture par laquelle on arrive sur la plate-forme pour y charger le combustible et le minérai.

N° 217, *page* 184, Figures R, S, T. Divers moyens employés pour retenir le massif des hauts fourneaux, et empêcher qu'ils ne cèdent à l'effort de la chaleur et des vapeurs.

Figure R, ancres de fer qui retiennent l'assemblage des barres de fer placées dans l'intérieur du fourneau.

Figure S, cadre de bois et ancres de fer, placés pour résister à l'effort de la chaleur et de la vapeur.

abc, cadres de bois qui ceignent la partie supérieure du fourneau.

Figure T, revêtement de bois placé à la moitié de la hauteur de plusieurs fourneaux de Suède, dans les lieux où les pierres sont rares.

N° 219, *page* 187, Figures U, V, X, Y. Formes de différentes embrasures pratiquées dans le massif des hauts fourneaux.

Figure U, embrasure quadrangulaire, construite avec des barres de fonte M, N, sur lesquelles on pose des pierres plattes.

o, ouverture par laquelle on fait couler les scories.

t, tympe.

Figure X, embrasure circulaire, construite en pierres de taille.

abc, fond de l'embrasure.

def, ouverture de l'embrasure sur la face du fourneau.

o, ouverture par laquelle les scories ont un écoulement continuel.

t, tympe.

Figure V, embrasure en ogive, construite en pierres de taille.

abc, fond de l'embrasure.

def, ouverture de l'embrasure sur la face du fourneau.

g, pièce de fonte pour soutenir et lier le fond de l'embrasure.

o, ouverture par laquelle les scories ont un écoulement continuel.

t, tympe.

Figure Y, coupe en profil de l'embrasure qui indique son inclinaison.

bc, inclinaison de l'embrasure.

ab, bande horizontale, à l'extrémité supérieure de l'inclinaison, pour faire réfléchir, par le bas, les étincelles embrasées qui montent le long de l'embrasure.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XI.

N° 221, *pages* 188 *et* 189, Figures Z, &, AA. Représentation de divers appentis ou couvertures, que l'on adapte autour des hauts fourneaux.

Figure Z, *ab*, appentis pour couvrir les machines soufflantes.

c, embrasures des machines soufflantes.

d, embrasure de la coulée.

Figure &, *abcde*, appentis pour couvrir les machines soufflantes et l'emplacement de la coulée.

p, porte par laquelle on entre sous l'appentis.

Figure AA, *ab*, *cd*, deux appentis pour couvrir les machines soufflantes lorsqu'elles ont deux embrasures.

N° 222, *pages* 189 *et* 190, Figures AB, AC, AD, AE, F. Moyen de faire parvenir le minérai et le combustible sur la plate-forme.

Figure AB, *ab*, chemin incliné pour transporter le combustible et le minérai.

b, ouverture pour entrer sur la plate-forme.

cdef, appentis pour couvrir les machines soufflantes, les ouvriers et les travaux.

ghi, roue hydraulique.

k, arbre qui communique son mouvement aux machines soufflantes.

l, courant d'eau.

Figure AC, fourneau du Mont-Blanc, adossé contre la montagne.

ab, gueulard.

ed, terrain contre lequel le fourneau est adossé.

oo, simulacre d'embrasure sur le devant du fourneau.

e, ouverture de la tuyère.

f, ouverture pour l'écoulement de la fonte et des scories.

Figure A D, fourneau séparé d'un terrain plane par une tranchée.

ab, chemin horizontal qui communique du terrain plane à la plate-forme.

cdef, appentis pour couvrir les machines soufflantes, les ouvriers et les travaux.

ghi, roue hydraulique.

k, arbre qui fait mouvoir la machine soufflante.

l, courant d'eau.

Figure A E, charbonnière à la proximité du haut fourneau.

Figure F, tas de minérais à la proximité du haut fourneau.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XII.

N° 223, *pages* 190, 191 et 192. Formes des vides intérieurs des différents hauts fourneaux en usage.

A, prisme quadrangulaire.

B, cylindre.

C, pyramide quadrangulaire tronquée.

D, cône tronqué.

E, prisme quadrangulaire, posé sur la base d'une pyramide tronquée quadragulaire.

F, cylindre posé sur la base d'un cône tronqué.

G, deux pyramides quadrangulaires tronquées, opposées base à base.

H, deux cônes tronqués, opposés base à base.

I, ellipsoïde de révolution dans lequel on tronque deux segments *abc*, *def*.

Figure K, fourneau prismatique en usage en Bohême, d'après les détails que Swedemborg en donne.

abcd, vide prismatique.

ad, gueulard.

e, tuyère.

f, embrasure de la coulée.

gg, batailles.

o, ouverture pour l'écoulement des scories entre la tympe et la dame.

Figure L, fourneau conique de Johan-Georgen-Stadt, en Saxe.

Figure M, fourneau pyramidal décrit par Swedemborg.

Figure N, fourneau pyramidal posé sur sa base.

Figure O, fourneau de Bresse, en Italie, connu sous le nom de *Connechio*, dont la forme a été conclue des détails que Swedemborg en a donnés.

Figure P, fourneau pyramidal prismatique de Laurwig, en Norwège.

Figure Q, fourneau formé de deux pyramides opposées, en usage en Styrie et en Carinthie.

Figure R, fourneau ellipsoïdal, en usage en Styrie.

Figure S, fourneaux formés de deux pyramides opposées tels qu'ils existent à Grassouvre, le plan du ventre est octogone.

Détails de ces différents fourneaux.

abcb, cheminée supérieure.

bikc, ouvrage, ou cheminée inférieure.

iklm, creuset.

e, ouverture de la tuyère.

adpq, petite masse supérieure.

ad, ouverture du gueulard.

f, embrasure de la coulée.

o, ouverture, entre la tympe et la dame, par laquelle s'écoulent les scories.

gh, batailles.

qrsh, cheminée pratiquée au-dessous de la plate-forme.

N° 235, *page* 196, Figure T. Courbe représentant la loi de la température d'un fourneau prismatique.

a, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, indique les hauteurs du fourneau prismatique au-dessus de l'ouverture de la tuyère *t*.

ag, *bh*, *ci*, *dk*, *el*, *fm*, indique les températures correspondantes à chacune de ces hauteurs.

ghiklm, est la courbe qui représente la loi de la température pour les diverses hauteurs.

N° 236, *page* 196, Figure U. Courbe représentant la loi de variation de la température qui a lieu à une même hauteur au-dessus de la tuyère, selon la variation de la surface de la tranche.

abcdef, indique les racines carrées des surfaces des tranches, à partir de l'origine *a*.

bg, *ch*, *di*, *ek*, *fl*, indiquent les températures correspondantes.

aghikl, est la courbe qui représente la loi de la température pour chaque racine carrée des surfaces.

N° 237, *page* 199. Détermination des points de plus haute température, dans chaque tranche du fourneau, déduite des lois de la réflexion du calorique rayonnant.

ab, *cd*, deux droites partageant le plan quadrangulaire du fourneau en deux parties égales dans les deux sens, et qui détermine le point de plus haute température en C.

X, centre du cercle où se trouve le point de plus haute température dans les fourneaux circulaires isolés.

N° 238, Figure Y, *page* 201. Coupe verticale d'un fourneau pyramidal posé sur la tronquature.

ab, direction et réflexion de la chaleur rayonnante.

cd, axe du fourneau.

ef, gueulard.

N° 239, *page* 202, Figure Z. Fourneau pyramidal posé sur sa base.

N° 240, Figure &, *page* 203. Fourneau pyramidal prismatique de Laurwig, en Norwège.

N° 241, *page* 203, Figure AA. Fourneau de Styrie et de Carinthie, formé de deux pyramides tronquées, opposées base à base.

ab, réflexion de la chaleur rayonnante.

cd, axes des fourneaux, ou ligne de plus haute température.

ef, gueulard.

N° 242, Figure AB, *pages* 203 *et* 204. Fourneaux ellipsoïdaux de Styrie.

b, foyer de l'ellipsoïde de révolution.

ab, réflexion de la chaleur rayonnante.

cd, axe du fourneau.

ef, ouverture du gueulard.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XIII.

N° 243, *page* 204, Figure A. vide absolu d'un haut fourneau.

a, cheminée supérieure.

b, grand foyer.

N° 244, *p.* 205. Trois coupes de cheminées supérieures de hauts fourneaux.

Figure B, cheminée supérieure sans petite masse supérieure.

Figure C, chemin supérieur avec une petite masse supérieure ou buse.

abcd, prismatique.

Figure D, cheminée supérieure avec une *buse acdb* pyramidale.

ab, ouverture des gueulards.

Figure U, bécasse avec laquelle on fond le vide des fourneaux.

N°s 245 *et* 255, *pages* 205 *et* 217. Coupe verticale de deux grands foyers.

FIGURE E, grand foyer ordinaire divisé en trois parties.

a, creuset.

b, ouvrage.

c, étalages.

FIGURE F, grand foyer des fourneaux de Styrie et de Carinthie, divisés en deux parties.

a, creuset.

N° 256, *pages* 118 *et* 119. Coupe verticale de plusieurs grands foyers.

FIGURE G, grands foyers de fourneaux de Suède.

a, creuset.

t, ouverture de la tuyère.

i, *k*, naissance de la courbure de l'ouvrage.

FIGURE H, projection des étalages.

FIGURE I, projection de l'ouvrage.

FIGURE K, coupe verticale du grand foyer des fourneaux de Saxe.

a, creuset.

t, ouverture de la tuyère.

iklm, courbe du segment formé par les étalages.

FIGURE L, grand foyer ordinaire.

a, creuset.

b, ouvrage.

c, étalages.

FIGURE M, coupe verticale du grand foyer, dans lequel on indique les inclinaisons extrêmes des étalages.

plk, angle de 20 degrés (ancienne division), avec l'horizon qui est le plus petit que l'on puisse donner aux étalages.

omi, angle de 60 degrés (ancienne division), avec l'horizon, le plus grand que l'on puisse donner aux étalages.

FIGURE N, coupe verticale d'un grand foyer, dans lequel on indique la courbure que doit suivre le minérai fondu, après avoir glissé le long des étalages.

ir, *kr*, courbure que doit suivre le minérai pour tomber dans le milieu du creuset.

FIGURE O, ouvrage des fourneaux de Schmalkalden.

iklm, étalages.

iuvk, ouvrage.

uxyv, creuset.

N° 259, *p.* 222. Déformation des fourneaux dans le fondage, d'après laquelle on détermine la forme la plus convenable aux fourneaux de Suède.

FIGURE P, plan et coupe verticale des déformations.

abcd, plan carré d'un fourneau avant sa mise en feu.

aebfcgh, courbure résultante de l'attaque des parois pendant le fondage.

a, creuset.

uimoplkv, coupe verticale du fuurneau avant sa mise en feu.

mqn, *lrv*, courbure provenant de l'attaque des parois pendant le fondage.

FIGURE R, coupe verticale des hauts fourneaux suédois, déterminée d'après la déformation qui a lieu dans le foudage.

omlp, cuve, ou cheminée supérieure.

mikl, courbure représentant la réunion des étalages et de l'ouvrage.

iuvk, vide prismatique dont l'extrémité inférieure au-dessous de la tuyère *t* forme le creuset.

N° 260, *pages* 123 *et* 124. Détails sur la manière dont on peut déterminer la proportion la plus convenable aux fourneaux.

FIGURE R, exemple de l'exhaussement successif de la bure pour déterminer la hauteur qui convient le mieux à un fondage économique.

af, *bg*, *ch*, *di*, *ek*, assises des exhaussements successifs des étalages.

FIGURE S, exemple de l'exhaussement successif des étalages.

ac, *bd*, assises d'exhaussements successifs.

N° 261, *page* 226, profil du canon avec sa *masselotte* T.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XIV.

N° 261, *pages* 227 *et* 228. Plan et coupe verticale de deux creusets.

FIGURE A, projection des creusets de Styrie et de Carinthie.

a, plan horizontal.

b, coupe verticale.

t, ouverture de la tuyère.

oo, ouvertures par lesquelles on coule la fonte et les scories.

FIGURE B, projection des creusets les plus généralement employés.

cde, plan horizontal d'un creuset rectangulaire.

c, rustine.

d, costière de la tuyère.

e, costière du contrevent.

ab, coupe verticale d'un creuset.

a, dame.

b, tympe.

t, ouverture de la tuyère.

N° 262, *page* 228. Projection des différentes formes de creuset dont on fait usage.

FIGURE C, creuset trapézoïdal dans lequel la largeur de la dame est plus grande que celle de la rustine.

bcde, plan du creuset.

b, dame.

c, rustine.

d, costière de la tuyère.

e, costière du contrevent.

ab, coupe verticale.

a, tympe.

b, dame.

FIGURE D, plan d'un creuset dont une partie *de* (celle de la rustine) est rectangulaire, et l'autre *ef* (celle de la tympe), est trapézoïdale; la largeur de la dame *f* étant la plus grande.

FIGURE E, plan d'un creuset rectangulaire avec une dame oblique.

d, dame sur laquelle coulent les laitiers.

f, *frayeux*, plaque de fonte qui contient l'ouvrage, retient la coulée, et sert de point d'appui dans le travail.

FIGURE F, creuset à rustine, courbe, en usage dans quelques fourneaux de Franche-Comté.

acb, courbure de la rustine.

d, dame.

f, frayeux.

FIGURE G, creuset des hauts fourneaux de Suède, dans lesquels la largeur de la dame *f* est moins grande que celle de la rustine *ik*; et la face de cette dernière est oblique sur la droite *bc*, qui divise le creuset en deux parties égales.

N° 263, *pages* 229, 230 *et* 231. Plan et coupe verticale de différents creusets de Suède.

FIGURE K, plan horizontal et coupe verticale des creusets de hauts fourneaux de Suède.

ikf, plan horizontal.

adi, angle de 91°, 5' (ancienne division).

adk, angle de 88°, 55′ (ancienne division).
gns, coupe verticale.
g, fond du creuset.
n, ouverture de la tympe.
u, tympe.
s, dame.

Figure L, plan horizontal et coupe verticale d'un creuset propre à fondre le minérai très-réfractaire.
ab, costière de la tuyère qui s'incline dans le dedans du creuset.
de, costière du contrevent un peu inclinée au-dessous.

Figure M, plan horizontale et coupe verticale d'un creuset propre à traiter les minérais peu réfractaires.
ab, costière de la tuyère, placée verticalement.
de, costière du contrevent, moyennement inclinée au dehors.

Figure N, plan horizontal et coupe verticale d'un creuset destiné à traiter des minérais très-fusibles.
ab, costière de la tuyère, inclinée en dehors.
de, costière du contrevent, très-inclinée en dehors.

Figure P, plan horizontal et coupe verticale d'un creuset de haut fourneau.
gnpo, coupe verticale du creuset.
pn, ligne horizontale.
no, inclinaison de la tuyère.
pno, angle que fait la tuyère avec l'horizon.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XV.

N° 331, *faisant suite au N°* 266, *page* 236. Forme du vide des fourneaux du Piémont et des départements du Mont-Blanc et de l'Ysère.

Figure A, projection oblique de deux pyramides quadrangulaires, opposées base à base, qui forme le vide du fourneau.

Figure B, autre projection des deux mêmes pyramides.

Figure C, coupe verticale du même fourneau perpendiculairement à la face de la coulée.
a, gueulard.
ap, plate-forme.
bc, ventre du fourneau.
d, creuset.

afd, ligne du milieu du fourneau.

t, ouverture de la tuyère.

N° 267, *p.* 238, FIGURE D. Coupe verticale d'une roche inclinée sur laquelle on doit poser le haut fourneau.

ab, *cd*, *ef*, *gh*, *i*, échelons taillés dans le roc pour asseoir le fourneau.

N° 267, *page* 238, FIGURE P. Grillage fait en grosses pièces de bois, que l'on pose dans les terrains moux, et sur lequel on construit le massif du fourneau.

N° 269, *pages* 240 *et* 241. plan et coupe verticale des canaux que l'on pratique dans les fondations des fourneaux, pour faciliter l'écoulement des eaux et de l'humidité.

FIGURE F, coupe verticale des fondations avec un seul canal pratiqué dans le sens de la tuyère au contrevent.

FIGURE I, plan des mêmes fondations.

abcd, plan et élévation du canal.

ef, plaque du fond du creuset.

g, creuset.

h, dame.

i, tympe.

t, ouverture de la tuyère.

u, embrasure de la coulée.

FIGURE G, coupe verticale des fondations, avec deux canaux qui se croisent à angle droit, et qui n'ont que deux ouvertures extérieures.

FIGURE K, plan des mêmes fondations.

abcdklmnopqr, plan et coupe verticale du canal.

ef, plaque du fond du creuset.

g, creuset.

t, tuyère.

s, embrasure de la tuyère.

FIGURE H, coupe verticale des fondations, avec deux canaux qui se croisent à angle droit, dans lesquels l'humidité se dégage par quatre canaux obliques.

FIGURE L, plan des mêmes fondations.

ab, *cd*, plan et élévation des deux canaux.

ak, *bl*, coupe verticale des canaux obliques par lesquels se dégage la vapeur.

ef, plaque du fond du creuset.

g, creuset.
h, dame.
i, tuyère.
t, ouverture de la tuyère.
u, embrasure de la coulée.

Figure M, coupe verticale des fondations d'un fourneau suédois.
abcd, vide cylindrique que l'on remplit de pierres sèches ou de scories, pour faciliter la vaporisation de l'humidité.

N° 270, *page* 242. Plan de deux piliers de cœur.

Figure N, tracé d'un pilier de cœur par les lignes menées de l'ouverture de l'embrasure au centre du fourneau.
kmfbodgnl, massif du pilier de cœur.
a, centre du fourneau.
ab, *ad*, faces obliques des embrasures.
h, embrasure de la coulée.
i, embrasure des machines soufflantes.

Figure O, tracé un peu plus compliqué d'un pilier de cœur, lorsque par la méthode précédente les embrasures n'ont pas assez de largeur.
a, centre du fourneau.
gepc, petit cercle dont le centre *a* est également celui du fourneau.
bc, *de*, lignes droites partant de l'ouverture de l'embrasure, menée tangentiellement au petit cercle.
fg, moitié des lignes *bc*, *de*.
af, *ag*, lignes menées du centre *a* aux points *f*, *g*.
aemkfbcdglne, massif du pilier de cœur.
h, embrasure de la coulée.
i, embrasure des machines soufflantes.

N° 271, *page* 242, Figure P. Coupe verticale d'un haut fourneau, dont la droite *a*, qui passe par le centre du gueulard et celui du creuset, est inclinée sur la verticale *ab*, menée du centre du gueulard. Ces sortes de fourneaux sont défectueux, en ce que les matières fondues tombent sur les étalages du contre-vent et le corrodent promptement.

N° 272, *page* 243, Figure Q. Coupe verticale d'un haut fourneau.
ad, *al*, parois intérieures, construites avec des pierres réfractaires.
bm, *bm*, enveloppe ou masse de maçonnerie formant les murs extérieurs et le massif principal.
cc, espaces qui séparent le muraillement extérieur des parois intérieures, et que l'on remplit d'argile ou d'autre substance.

i, creuset.
k, ouvrage.
e, étalages.
l, dame.
t, tympe.
m, embrasure de la coulée.
f, canal de desséchement.
g, *g*, grillage de bois.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XVI.

N° 272, *page* 243. Plan et profil du double muraillement formant le massif des hauts fourneaux.

Figure A, coupe verticale du double muraillement.

Figure B, plan du double muraillement d'un foureau dont le plan de la cuve est un quadrilatère.

Figure C, plan du double muraillement d'un fourneau dont le vide intérieur est une surface de révolution.

ad, *ad*, plan et coupe verticale du vide intérieur.

bm, *bm*, plan et coupe verticale du double muraillement que l'on remplit avec des pierres plus petites.

N° 273, *pag.* 244 *et* 245. Plan, coupe et élévation de plusieurs embrasures.

Figure D, coupe verticale d'une embrasure pyramidale quadrangulaire.

Figure E, plan d'une embrasure pyramidale quadrangulaire.

Fig. F, Elévation d'une embrasure pyramidale quadrangulaire.

a, *a*, *a*, traverses de fonte qui supportent les pierres plates qui forment la partie supérieure ou les marâtres de l'embrasure.

b, *b*, faces verticales de l'embrasure.

t, tympe.

o, ouverture par laquelle s'écoulent les scories.

d, dame.

Figure G, cintre de bois représentant le vide de l'embrasure, sur lequel on pose les pierres de taille qui le composent.

nadefbm, charpente du cintre de l'embrasure conique.

eg, *dk*, *ai*, planches qui recouvrent la charpente et qui forment la courbure du vide.

Figure H, projection verticale et oblique d'une embrasure conique.

naebm, courbe de l'embrasure sur le mur extérieur.

df, courbe du fond de l'embrasure.

g, *g*, *g*, pièces de fonte placées sur la face verticale du fond.

o, ouverture par laquelle s'écoulent les scories. Cette embrasure est construite tout en pierres de taille.

N° 274, *page* 246. Assemblage de barres de fer pour lier la maçonnerie et maintenir son écartement.

Figure I, assemblage de barres de fer placées à la hauteur de la tuyère.

Figure K, disposition des barres dans un pilier de cœur.

Figure L, disposition des barres dans la tranche placée au-dessus de la tuyère.

Figure M, disposition des barres au-dessus des embrasures.

Figure N, disposition des barres près le gueulard.

aa, coupe de la cuve dans le plan où les barres sont placées.

c, creuset.

b, embrasure de la coulée.

t, embrasure de la tuyère.

O, ancre droite placée dans les anneaux des barres qui sortent au dehors du mur.

P, ancre en S, placée dans les anneaux des barres.

Q, ancre en X, qui a la même destination.

R, ancre double ouverte par le bas.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XVII.

N° 375, *page* 246. Plan et coupe verticale d'un fourneau de Suède, dont les parois extérieures sont en maçonnerie jusqu'à la hauteur des voussoirs, et en bois au-dessus des voussoirs.

Figure A, plan du fourneau.

Figure B, coupe verticale.

abcn, muraillement intérieur du massif qui s'élève jusqu'à la plate-forme.

nopq, parois de la cuve.

c, creuset.

ef, *gh*, *ik*, *lm*, grandes pièces de charpente qui forment les parois extérieures au-dessus des embrasures.

xx, espace rempli de terre battue à la manière du Pisey.

vv, barres et ancres de fer qui retiennent les châssis de bois.

t, ouverture de la tuyère.

y, embrasure de la tuyère.

N° 276, *page* 247. Détails de la construction des parois.

Figure C, coupe verticale d'une parois entière.

a b, *a b*, murs verticaux qui entourent l'espace dans lequel on doit construire le grand foyer.

b c, *b c*, parois qui forment la cuve ou la cheminée supérieure.

Figure D, coupe verticale des parois verticales de l'espace dans lequel on doit construire le grand foyer.

a b, *a b*, parois verticales et obliques.

Figure E, coupe verticale des parois obliques de l'espace dans lequel on doit constuire le grand foyer.

d e f g, creuset.

e f k h, ouvrage.

i h k l, étalages.

Figure F, construction des parois de la cheminée supérieure.

a a, parois.

b b b, fausses parois.

Figure G, H, coupe verticale de la partie supérieure du fourneau.

c z z c, bure ou couverture.

n o, plaque de fonte qui recouvre la bure.

z z, ouverture du gueulard.

p q r, cercle de fer placé dans l'intérieur de quelques bures.

s u v x y, barres de fer placées entre les parois et les cercles, pour retenir les pierres et empêcher les dégradations.

N° 277, *pages* 247 *et* 248. Coupe verticale des grands foyers.

Figure I, creuset dont le fond n'est formé que d'une plaque de fonte *a a* et d'une pierre de sole *c c*.

Figure K, creuset dont le fond est formé d'une plaque de fonte *a a*, d'une couche de sable *b b*, et d'une pierre de sole *c c*.

Figure M, creuset dont le fond n'est formé que d'une seule pierre de sole *d d*.

e d g f, creuset.

e f k h, ouvrage.

i h k l, étalages.

N° 343, 344 *et* 345, *pages* 248 *et* 249. Coupes des positions des costières des joues et de la tympe.

Figures L *et* N, position de la tympe *a*, lorsque les costières *b b* sont assez élevées pour supporter la tympe.

Figure O, position de la tympe *a*, quand les costières *cc*, ne sont pas assez élevées; dans ce cas, on pose, sur les costières, des joues *dd*, sur lesquelles on place la tympe.

N° 278, *pages* 249 *et* 250. Construction du creuset et de l'ouvrage.

Figure P, coupe verticale de la construction des creusets avec du sable réfractaire à la manière du Pisé.

ac, moule de bois que l'on place sur la pierre de sole au milieu du grand foyer.

a, ouvrage.

c, creuset.

b, *b*, parois qui enveloppe le vide du grand foyer.

d, sable placé autour de la forme *ac*.

Figure Q, coupe verticale d'un fourneau dans lequel le vide du grand foyer est construit en même temps que la cheminée supérieure.

N° 279, *p.* 251. Moyens employés pour construire les parois des fourneaux.

Figure R, construction des parois d'une cuve conique de haut fourneau par le moyen d'un calibre *ddd*; le grand foyer est construit séparément dans ce vide.

bc, pièce de bois qui soutient le calibre dans la partie supérieure.

aa, *dd*, calibre dont *aa*, est l'axe.

Figure S, construction d'une cuve conique dont le grand foyer se maçonne avec les parois.

aa, *dd*, calibre dont *aa*, est l'axe.

bc, pièce de bois qui soutient le calibre par le haut.

Figure T, construction d'une cheminée supérieure d'une forme quadrangulaire, par le moyen des cordeaux.

ab, *cd*, *ef*, *gh*, cordeau tendu pour former le vide de la cheminée.

Figure U, construction, avec des planches, d'une cheminée supérieure quadrangulaire formant la grande pyramide intérieure.

inok, *kopl*, *lpqm*, *mqni*, faces de la pyramide formée par des planches.

N° 280, *page* 252, Figure V. Coupe du fourneau avec des canaux pratiqués dans le massif, pour faciliter la sortie de la vapeur.

a, *a*, canaux de vaporation.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XVIII (*a*).

Figure A, plan d'un haut fourneau dans les fondations.

aa, canal pour l'écoulement des eaux et de la vapeur.

c, projection du creuset.

t, projection de l'embrasure de la coulée.

s, projection de l'embrasure des machines soufflantes.

FIGURE B, plan d'un haut fourneau à la hauteur du creuset.

c, creuset.

b b, costières.

r, pierre de rustine.

ff, barres de fer placées pour retenir l'effort de la maçonnerie.

t, embrasure de la coulée.

s, embrasure des machines soufflantes.

FIGURE C, plan d'un haut fourneau, aux étalages, à la réunion des bases des deux pyramides.

c, creuset.

d, *d*, *d*, *d*, plan du ventre du fourneau.

ff, ferrement.

t, embrasure de la coulée.

s, embrasure des machines soufflantes.

FIGURE D, plan de la plate-forme du haut fourneau.

g, ouverture du gueulard.

bb, bure.

m, *m*, murs des batailles.

o, ouverture par laquelle on arrive sur la plate-forme.

FIGURE E, coupe verticale d'un haut fourneau dans le sens de la coulée.

FIGURE F, coupe verticale d'un haut fourneau dans le sens des machines soufflantes.

c, creuset.

e g h i, ouvrage.

i h k l, étalages.

l k m o, cheminée supérieure.

p, vide de la bure.

g, ouverture du gueulard.

b b, massif de la bure.

m, *m*, murs des batailles.

v v v v, double muraillement du massif.

f, *f*, ferrements pour retenir l'écartement du muraillement.

x, massif des parois.

y, substance non-conductrice de la chaleur, placée entre le double muraillement et les parois.

z, remplissage du double muraillement.

aaa, canal pour l'écoulement des eaux et des vapeurs.

u, plaque de fonte.

r, couche de sable ou de scories.

q, pierre de sole.

o, ouverture de la coulée.

d, dame.

t, embrasure de la coulée.

s, embrasure des machines soufflantes.

Figure G, projection oblique d'un haut fourneau.

pxyv, massif du fourneau hors de terre.

xqux, massif du fourneau dans les fondations.

z, *z*, grillage placé sur un terrain mou.

a, canal pour l'écoulement des hauts fourneaux et de l'humidité.

f, *f*, ancres de fer qui retiennent les ferrements placés dans l'intérieur du massif.

bb, *cc*, embrasure de la coulée.

m, *m*, marâtres.

o, ouverture de la tympe par laquelle les scories s'écoulent.

d, dame.

gg, *hh*, embrasure des machines soufflantes.

m, marâtre.

ss, soufflets.

rr, roue hydraulique à aube.

l, *l*, arbre de la roue sur laquelle sont les cammes qui font mouvoir les soufflets.

nu, *un*, contre-poids qui relèvent les volants des soufflets, lorsqu'ils ont été abaissés par les cammes.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XVIII (*b*).

N° 285, *pages* 256 *et* 257. Plan et coupe de huit hauts fourneaux à cheminée extérieure, de Styrie et de Carinthie.

N° 1, plan et élévation d'un fourneau de Neuberg, en Styrie, qui consume 221 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 2, plan et élévation d'un haut fourneau de Carinthie, indiqué N° 2, de Marcher, consumant 136 parties de charbon par 100 de fonte.

38.

N° 3, plan et élévation d'un haut fourneau à deux tuyères, de Vordernberg, en Styrie, consumant 107 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 4, plan et élévation d'un haut fourneau de Carinthie, indiqué N° 6, de Marcher, consumant 106 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 5, plan et élévation du haut fourneau de Mossing, en Carinthie, consumant 150 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 6, plan et élévation d'un haut fourneau à deux tuyères, de Eisenartz en Styrie, consumant 182 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 7, plan et élévation d'un haut fourneau de Carinthie, indiqué N° 8 du tableau de Marcher, consumant 95 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 8, plan et élévation d'un haut fourneau à deux tuyères, de Treybach en Carinthie, consumant 123 parties de charbon par 100 de fonte.

Détails des huit fourneaux.

a, coupe verticale du vide de la cuve.

b, chemin extérieur.

d, *d*, canaux qui établissent la circulation de l'air sur la plate-forme.

c, plan du creuset.

s, embrasure des machines soufflantes.

t, embrasure de la coulée.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XIX.

N° 285, *pages* 257 *et* 258. Plan et coupe de huit hauts fourneaux de divers pays.

N° 9, plan et coupe d'un haut fourneau destiné à couler de la marchandise en fonte moulée, indiqué par Courtivron, dans son Art des Forges.

N° 10, plan et coupe d'un haut fourneau, que l'on suppose exister en Bohême. Ces plans sont faits d'après les détails que Swedemborg et Marcher ont donnés des fourneaux de ce pays.

N° 11, plan et coupe d'un haut fourneau que l'on dit exister en Italie sous le nom de *connechio*. Ce fourneau est dessiné d'après les dimensions et les formes que Swedemborg indique.

N° 12, plan et coupe d'un haut fourneau de Laurwig, en Norwège, décrit par Jars et Duhamel; il consume 170 parties de charbon par 100 de fonte. On a pratiqué plusieurs canaux *a*, *a*, *a*, *a*, dans le massif de ce

fourneau, pour faciliter la sortie de l'humidité et pour régler la position de la ligne de plus haute température.

N° 13, plan et coupe d'un haut fourneau de Saxe, que Grignon a décrit et fait graver dans ses Mémoires de Physique, sur l'Art de fabriquer le fer.

N° 14, plan et coupe d'un haut fourneau de Johan-Gorgenstadt, publié par Jars et Duhamel. On y brûle 196 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 15, plan et coupe d'un fourneau de Suède, qui existait du temps de Swedemborg, et que ce savant fit graver dans son Art des forges.

N° 16, plan et coupe d'un fourneau, tel qu'on les construit aujourd'hui, en Suède, copiés sur la gravure qui accompagne le bel ouvrage de Garney, sur les hauts fournaux.

Détails des hauts fournaux.

a, coupe verticale du massif et de la cuve des hauts fourneaux

c, plan du creuset et du massif.

s, embrasure des machines soufflantes.

t, embrasure de la coulée.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XX.

N° 285, *pages* 259 *et* 260. Plan et coupe de huit hauts fourneaux de différents pays.

N° 17, plan et coupe d'un fourneau elliptique, proposé par Grignon, et gravé dans la Collection de ses Mémoires.

N° 18, plan et coupe d'un haut fourneau du pays de Liége, indiqué par Swedemborg. Il consume 260 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 19, plan et coupe d'un haut fourneau, décrit par Réaumur, qu'on croit être celui de Grossouvre. Le plan de réunion de la cheminée supérieure et des étalages est un octogone.

N° 20, plan et coupe d'un haut fourneau de Schmalkalden, dans la Hesse. Il consume 160 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 20 (*a*), plan et coupe d'un haut fourneau de Conche, département de la Seine-Inférieure, dont on a élevé les étalages. Ce fourneau est décrit par O'Relly, tome V, page 225 des Annales des Arts et Manufactures.

N° 21, plan et coupe d'un haut fourneau de Hebetheim, en Hongrie, décrit sous le N° 44 de Marcher. Il consume 549 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 22, plan et coupe d'un haut fourneau du comté de Laurwig, en Norwège, décrit par Jars et Duhamel. Il consume 169 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 23, plan et coupe d'un haut fourneau à deux tuyères, de Bergen, en Bavière, dans lequel on a fait des expériences sur l'emploi de la tourbe, comme combustible. Il consume 210 parties de charbon par 100 de fonte.

Détails des hauts fourneaux.

a, coupe verticale du massif et de la cuve du haut fourneau.

c, plan du creuset et du massif.

s, embrasure des machines soufflantes.

t, embrasure de la coulée.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXI.

N° 285, *page* 260. Plan et coupe des six hauts fourneaux de différents pays, chauffés, les uns avec du charbon de bois, les autres avec du charbon de houille.

N° 24, plan et coupe d'un haut fourneau de Petrokamenskoï, en Sybérie. Il consume 160 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 25, plan et coupe d'un haut fourneau à trois tuyères, proposé par O'Relly, pour être construit à Preuilly, département de l'Indre.

N° 26, plan et coupe d'un haut fourneau à deux tuyères de Newiamskoï, en Sybérie. Il consume 115 parties de charbon par 100 de fonte.

N° 27, plan et coupe d'un haut fourneau du Creuzot, département de Saône-et-Loire, dans lequel on brûle du charbon de houille. Il consume 300 parties de charbon de houille par 100 de fonte.

N° 28, plan et coupe d'un haut fourneau à double coulée et à une seule embrasure de machines soufflantes, qui contient deux tuyères. O'Relly annonce que ce fourneau est construit à Abernault, dans le South-Wales, en Angleterre, et qu'il est chauffé avec du charbon de houille.

N° 29, plan et coupe d'un haut fourneau de Gleiwitz, en Haute-Silésie, dans lequel on brûle du charbon de houille. Il consume 240 parties de charbon de houille par 100 de fonte.

Détails des six hauts fourneaux.

a, coupes verticales du massif et de la cuve des hauts fourneaux.
c, plan du creuset et du massif.
s, embrasure des machines soufflantes.
t, embrasure de la coulée.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXII.

N° 285, *page* 261. Plans et coupes de trois hauts fourneaux anglais, dans lesquels on brûle du charbon de houille.

N° 30, plan et coupe d'un haut fourneau à deux tuyères, dont la forme extérieure est celle d'un cône. Ce fourneau, en usage dans le Shropshire, en Angleterre, consume 350 parties de charbon de houille par 100 de fonte.

N° 31, plan et coupe d'un haut fourneau à deux tuyères, dont la forme extérieure est celle d'un cône. Ce fourneau est employé dans le Glamorgan; il consume 260 parties de charbon de houille par 100 de fonte.

N° 32. Plan et coupe d'un haut fourneau en usage en Angleterre, et dans lequel on brûle du charbon de houille. Ce fourneau est décrit par O'Relly.

Détails des trois hauts fourneaux anglais.

a, coupe verticale du massif et de la cuve des hauts fourneaux.
c, plan du creuset et du massif.
s, embrasure des machines soufflantes.
t, embrasure de la coulée.

N° 33, plan et coupe d'un haut fourneau chauffé avec de la houille, et dans lequel on ne fait pas usage de machines soufflantes. Ce fourneau a été construit par M. le comte de Sternberg.

Figure A, coupe verticale du fourneau.
Figure B, plan horizontal.

a, plan et coupe de la cuve dans laquelle on charge le minérai avec du charbon de bois.
c, *c*, creusets dans lesquels s'accumulent la fonte et les scories.
g, *g*, foyers des fourneaux de réverbère, sur lesquels on charge la houille qui doit chauffer le fourneau.

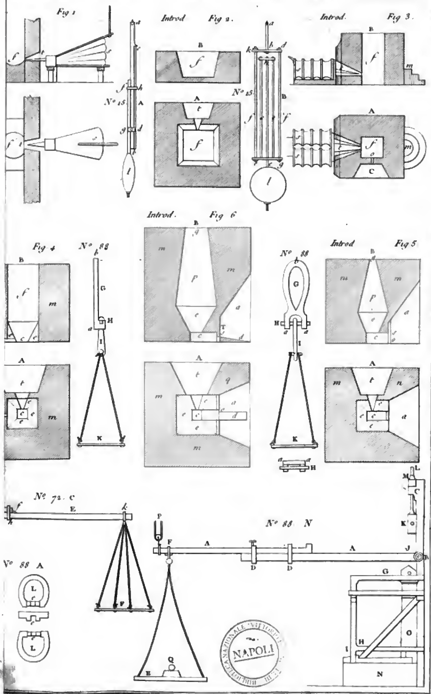
o, *o*, ouvertures par lesquelles on charge de houille le foyer du fourneau.

p, *p*, ouvertures par lesquelles on coule la fonte et les scories accumulées dans les creusets.

FIN DE L'EXPLICATION DES PLANCHES DU PREMIER VOLUME.






Fig 1
Introd. Fig 2.
Introd. Fig 3.
Nº 15
Introd. Fig 6
Fig 4
Nº 88
Nº 88
Introd. Fig 5
Nº 72. C
Nº 88 N
Nº 88 A

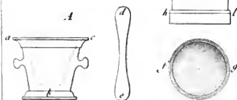
Pl. 2.

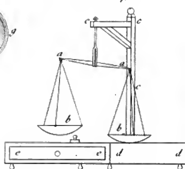


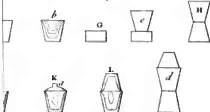


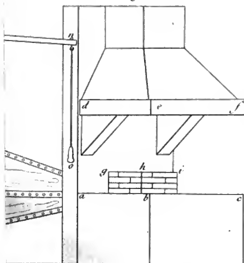





N.° 171.
A
B
a
c
b
d
e
h
l
f
g


N.° 172. C.
c
a
b
e
d


N.° 173. D.
b
G
e
H
K
d
L
d


N.° 174. fig. E.
n
b
o
d
e
f
g
h
i
a
b
c

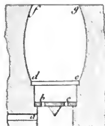

N.° 175. fig. F.
f
g
d
e
b
c
d


fig. Q


fig. M.
c

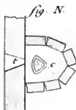

fig. N.
t
c


fig. P


NAPOLI

Fig. O

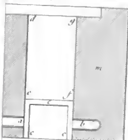
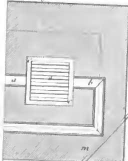


Fig. Z

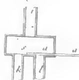


N° 175

Fig. R.



Fig. Y



N° 176
Fig. U



Fig. V

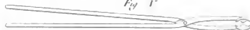
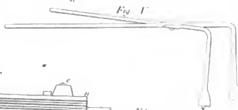
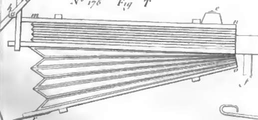


Fig. V



N° 176 Fig. T



N° 178

O

N

N° 176
Fig. K

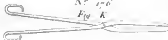


Fig. T.

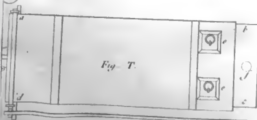
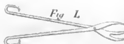


Fig. L







N.° 187.

A B b C

N.° 187.

B a

D

N.° 188.

fig. Ab. m l

N.° 175. &c.

fig. E. c

fig. E.

175. &c.

fig Aa

i k h g e f d c b

b

g f d e

G

N.° 188.

fig F. h i

fig. F. H

a

f fig. L. g

h

N.° 191

fig. M.

N.° 191.

b c d e

fig K.

fig. L. k i

b c d e

N.° 192.

fig. N. fig. O.

fig. I.

b c d c

N.° 192.

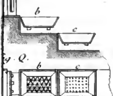
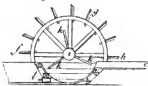


fig. R.



N.° 193.

N.° 192.

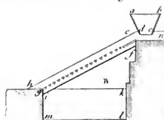


fig. Rr.

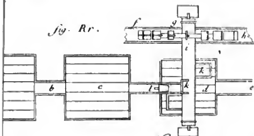
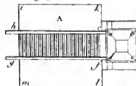


fig. P.



N.° 202.



N.° 201.



fig. a.

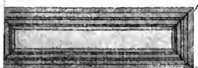




fig. b.

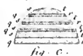
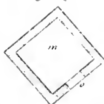
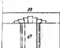


fig. c.

fig. f.



N.° 202.







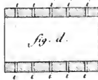
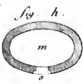


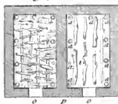
fig. m.

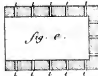
fig. g.



fig. h.







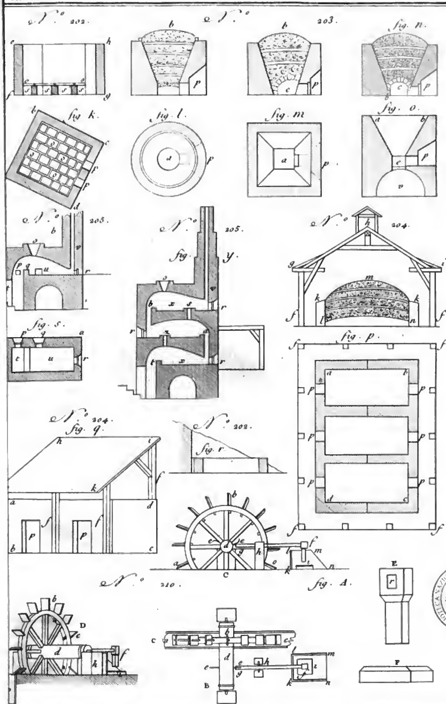

N.° 202.
N.° 203.
fig. n.
fig. k.
fig. l.
fig. m
fig. o.
N.° 205.
N.° 205.
fig. y.
N.° 204.
fig. s.
fig. p.
N.° 204.
fig. q.
N.° 202.
fig. r.
N.° 210.
fig. A.

fig. B

fig. C

fig. J

fig. X.

fig. F.

fig. D

fig. H



N.° 214.

fig. A. fig. B. fig. C.

fig. D

N.° 215 fig. E.

N.° 215 et 220 fig. E.

N.° 215. fig. F.

N.° 214

N.° 215 fig. H.

fig. P.

fig. G.

N.° 216.
fig. I.

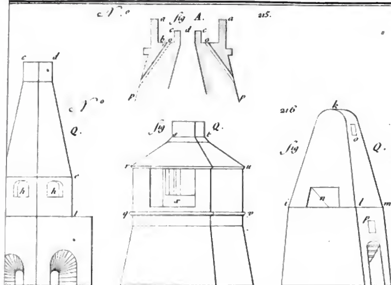
N.° 214 fig. O

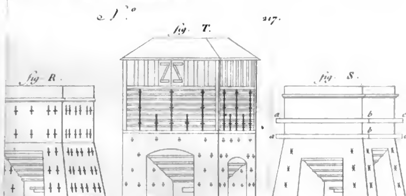
fig. K.

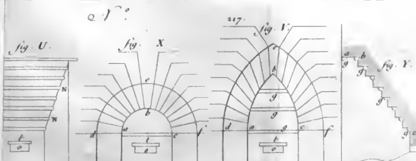
N.° 216 fig. L.

fig. M.

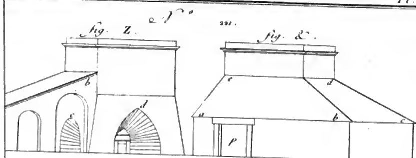
fig. N.

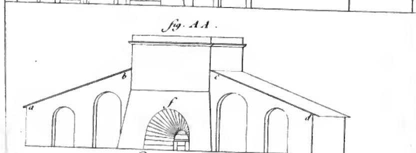

N.° 215.
fig A.
N.°
fig Q.
216
fig Q.
Q.

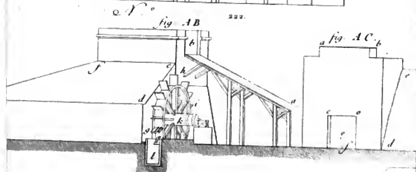

N.° 217.
fig. T.
fig. R.
fig. S.

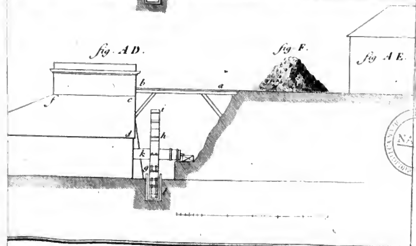

N.°
217.
fig. U.
fig. X
fig. V.
fig. Y.


NAPOLI


N.° 221.
fig. Z.
fig. &.
b
c
d
e
a
p


fig. A A.
a
b
c
d
f


N.° 222.
fig. A B
fig. A C.
a
b
c
d
e
f
h
k
l


fig. A D.
fig. F.
fig. A E.
a
b
c
d
f
h
k



N.° 223

B C D E F G H I

N.° 223

K

fig. L.

fig. M.

fig. N.

N.° 223.

O.

fig. P.

fig. Q

fig. R

N.° 223

S

N.° 235

fig. T.

N.° 236

fig. U.

N.° 237.

X

N.° 238.

Y.

N.° 239

fig. Z.

N.° 240.

fig. &

N.° 241

fig. AA

N.° 244.

fig. AB.





N.° 243. fig. A

N.° 244. fig. B · fig. C · fig. D

N.° 244 fig. U.

fig. H.

N.° 245. et 255 fig. E · fig. F

N.° 256. fig. G. · fig. I · fig. K.

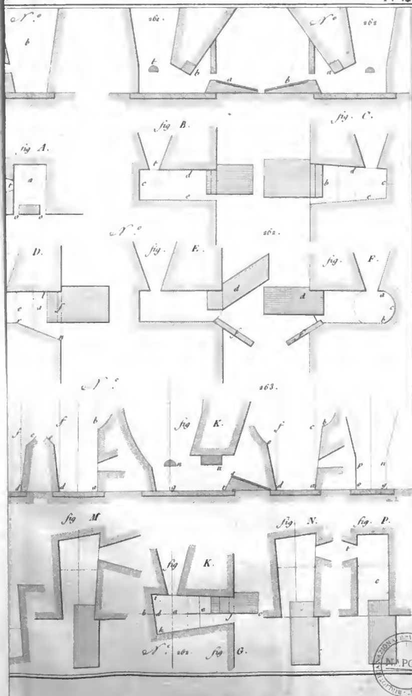
N.° 256. fig. L. · fig. M · fig. N. · fig. O.

N.° 259 fig. P. · fig. Q.

N.° 260. fig. R · fig. S

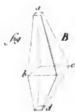
N.° 261 T




N.° 261.
N.° 262
fig. A.
fig. B.
fig. C.
N.° 262.
D.
fig. E.
fig. F.
N.° 263.
fig. K.
fig. M
fig. K.
fig. N.
fig. P.
N.° 262. fig. G.

N.° 331 N.° 267

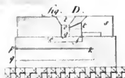




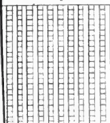




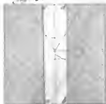


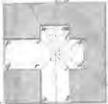


N.° 267. fig. E.



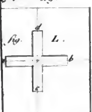
N.° 269





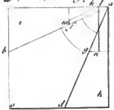


N.° 269.

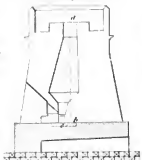




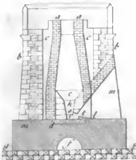
N.° 270. fig. N.



N.° 271. fig. P.



N.° 272. fig. Q.

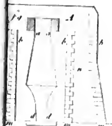


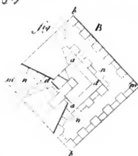
270 fig. O

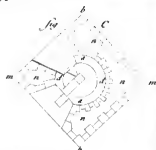




N.° 272

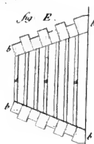




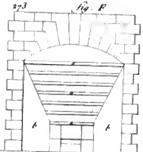


N.°





273



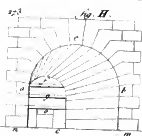
N.° 274



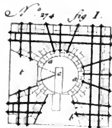
N.°



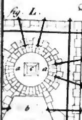
273

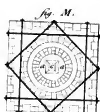


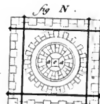
N.° 274



N.° 274







N.° 274











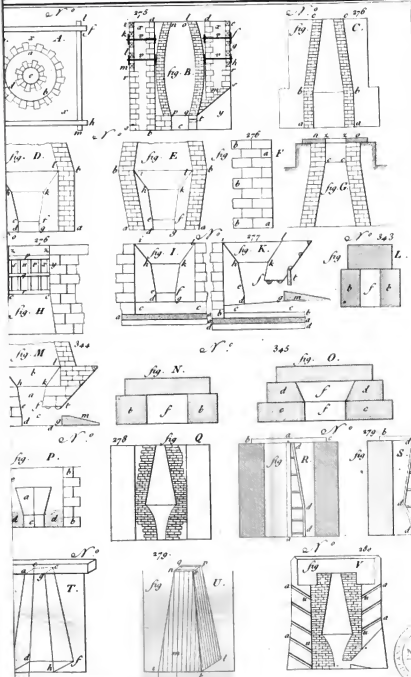
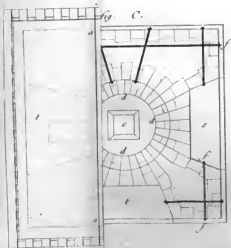
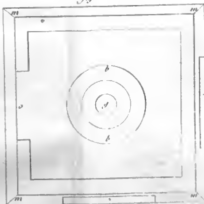
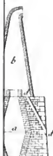

fig. A.
fig. B.
fig. C.
fig. D.
fig. E
fig. F
fig. G.
fig. H
fig. I.
fig. K.
fig. L.
fig. M
fig. N.
fig. O.
fig. P.
fig. Q
fig. R.
fig. S.
T.
fig. U.
fig. V

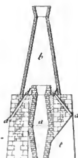
fig. G.

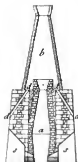


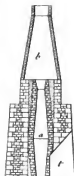


N.°   285





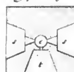


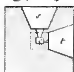


N.° 1   N.° 2   N.° 3   N.° 4

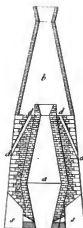


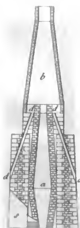


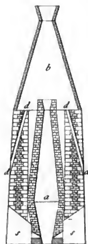






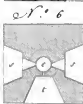


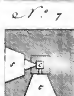


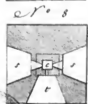


N.° 5   N.° 6   N.° 7   N.° 8









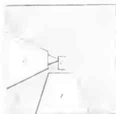






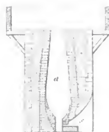


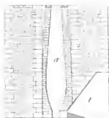




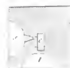


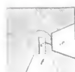


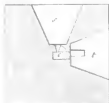




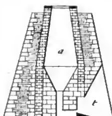


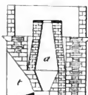


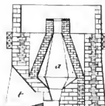




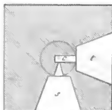
N.° 285.

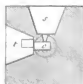



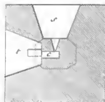


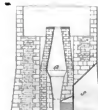


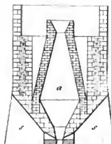
18 N.° 20. (a) N.° 17. N.° 19.

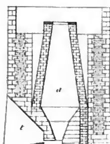





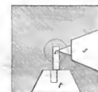


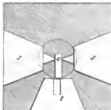



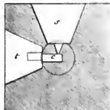




21. N.° 20. N.° 23. N.° 22.

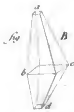









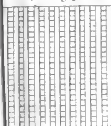
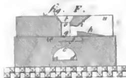
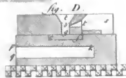
N° 331

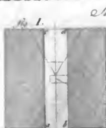
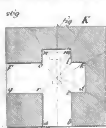
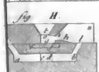

N° 267



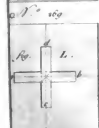
N° 267. fig. E.

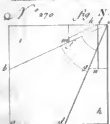
N° 269

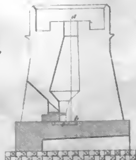
N° 269



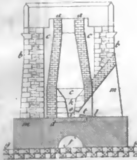

N° 270 fig. N.



N° 271. fig. P.



N° 272. fig. Q.



270. fig. O.




N.° 272

fig. A

fig. B

fig. C

N.° 273

D

fig. E

fig. F

N.° 274

fig. K

N.° 273

G.

fig. H

N.° 274 fig. I

N.° 274

fig. L

fig. M

fig. N

N.° 274

O

P

Q

R



N° fig. A.

N° 275 fig. B.

N° 276 fig. C.

N° fig. D.

fig. E

N° 276 fig. F

fig. G.

N° 276 fig. H

N° fig. I.

N° 277 fig. K.

N° 343 fig. L.

fig. M 344

N° fig. N.

345 fig. O.

N° fig. P.

278 fig. Q

N° fig. R

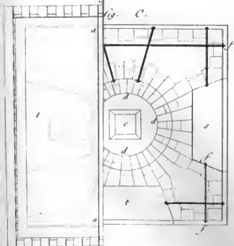
279 fig. S.

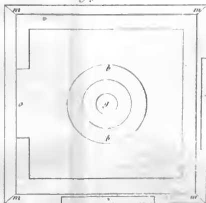
N° T.

279 fig. U.

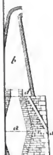
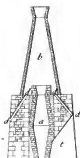
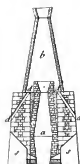
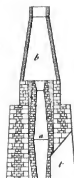
N° 280 fig. V.

fig. G.



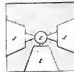
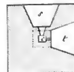


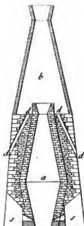
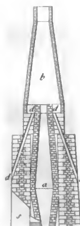
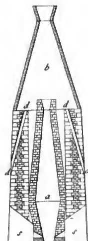


N.° 1 N.° 2 N.° 3 N.° 4

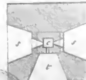


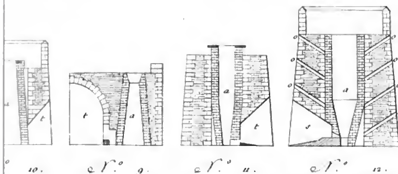





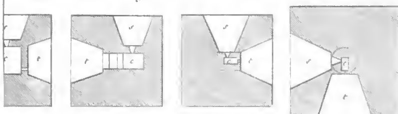
N.° 5 N.° 6 N.° 7 N.° 8

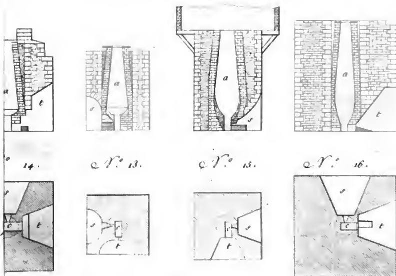


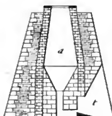
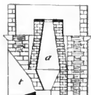
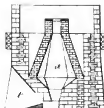



185.
a
t
a
t
a
t
a
s
o
o
o
o
o
o
o
o

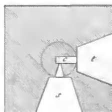
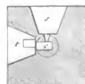

10.
N.° 9.
N.° 11.
N.° 12.
t
t
s
c
s
c
t
s
c
t


a
t
a
s
a
s
a
t
14.
N.° 13.
N.° 15.
N.° 16.
c
t
s
c
t
c
s
t
s
c
t

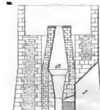
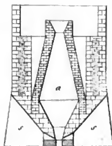
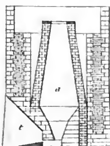
N.° 285

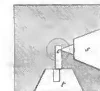
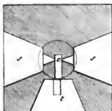
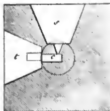
18 | N.° 20. (a) | N.° 17. | N.° 19.



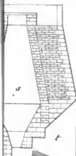




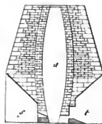
21. | N.° 20. | N.° 23. | N.° 22.

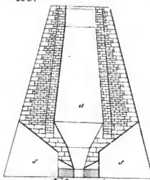







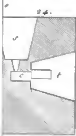
N.°



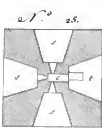




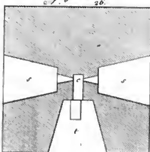
24.

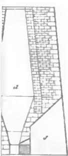


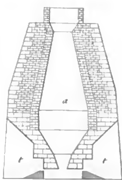
N.° 25.

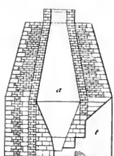


N.° 26.





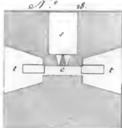




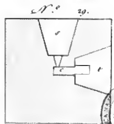
27.



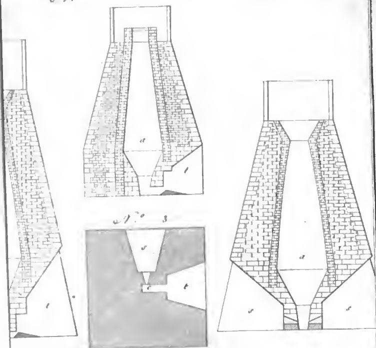
N.° 28.

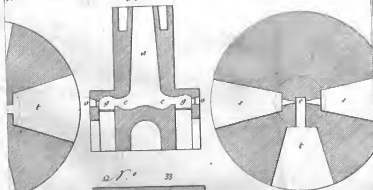


N.° 29.






N.° 3
a
t
s
c
285


fig. A.
N.° 30.
a
o
g
c
s
t


N.° 33
o
a
c
g
p
fig. B.


NAPOLI

